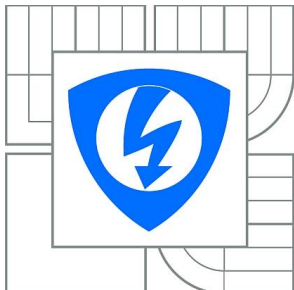


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ  
ÚSTAV MIKROELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND  
COMMUNICATION DEPARTMENT OF MICROELECTRONICS

# OPTIMALIZACE UMÍSTĚNÍ VZORKŮ V TEPLOTNÍ KOMOŘE

OPTIMIZATION OF LOCATION SPECIMENS IN TEMPERATURE CHAMBER

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

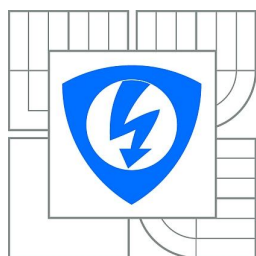
AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

TOMÁŠ SEVERA

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

doc. Ing. JOSEF ŠANDERA, Ph.D.

BRNO 2012



**VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ**

**Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií**

**Ústav mikroelektroniky**

# **Bakalářská práce**

bakalářský studijní obor  
**Mikroelektronika a technologie**

**Student:** Tomáš Severa

**ID:** 119600

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2011/2012

## **NÁZEV TÉMATU:**

**Optimalizace umístění vzorků v teplotní komoře**

## **POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:**

Měřením stanovte reálné rozložení teploty v teplotní komoře. Realizujte držák pro optimální umístění vzorků. Optimalizaci proveďte na základě měření a vhodného simulačního programu ANSYS.

## **DOPORUČENÁ LITERATURA:**

Podle pokynů vedoucího práce

**Termín zadání:** 6.2.2012

**Termín odevzdání:** 31.5.2012

**Vedoucí práce:** doc. Ing. Josef Šandera, Ph.D.

**Konzultanti bakalářské práce:**

**doc. Ing. Jirí Háze, Ph.D.**

*Předseda oborové rady*

## **UPOZORNĚNÍ:**

Autor semestrální práce nesmí při vytváření semestrální práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009Sb.

## Abstrakt:

Tato práce je zaměřena na stanovení rozložení teploty v teplotní komoře CTS. Teplota v komoře je měřena pomocí termočlánků. Naměřené hodnoty jsou graficky zakresleny a vyhodnoceny. Rozložení teploty v komoře je simulováno v programu ANSYS Workbench. Po optimalizaci teplotního rozložení je simulace provedena s DPS. Je zde popsána teplotní komora CTS, modul Omega TC – 08 a program pro teplotní simulaci ANSYS Workbench.

## Abstract:

This work is focused on the temperature distribution in thermal chamber CTS. The temperature in the chamber is measured using thermocouples. The measured values are graphically plotted and evaluated. The temperature distribution in the chamber is simulated in ANSYS Workbench. After optimization of the thermal decomposition, is carried out simulations with DPS. It describes the temperature chamber CTS module Omega TC - 08 and software for the thermal simulation ANSYS Workbench.

## Klíčová slova:

Stanovení teploty, teplotní komora cts, modul omega tc – 08, termočlánek, simulace, ANSYS Workbench

## Keywords:

Determines temperature profile, temperature chamber cts, module omega tc – 08, thermocouple, simulation, ANSYS Workbench

## Bibliografická citace díla:

SEVERA, T. *Optimalizace umístění vzorků v teplotní komoře*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2012. 42 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Josef Šandera, Ph.D..

## Prohlášení autora o původnosti díla:

Prohlašuji, že jsem tuto vysokoškolskou kvalifikační práci vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce, s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestně právních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne 31.5. 2012

.....  
podpis autora

## Poděkování:

Děkuji vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Josefu Šanderovi Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování práce.

# OBSAH:

## 1. ÚVOD

<b>2. TEORETICKÝ ROZBOR .....</b>	<b>1</b>
2.1. TEPLOTNÍ KOMORA - OBECNĚ.....	1
2.2. TEPLOTNÍ KOMORA CTS (CLIMA TEMPERATUR SYSTEM).....	1
2.3. MODUL OMEGA TC-08 .....	3
2.4. TERMOČLÁNEK .....	5
<b>3. PRAKTICKÁ ČÁST - MĚŘENÍ .....</b>	<b>6</b>
3.1. DRŽÁK PRO TERMOČLÁNKY .....	6
3.2. NASTAVENÍ MODULU OMEGA TC – 08 POMOCÍ PROGRAMU .....	7
3.3. NASTAVENÝ TEPLOTNÍ PROFIL .....	8
3.4. MĚŘENÍ TEPLoty V KOMOŘE .....	9
3.5. VYHODNOCENÍ MĚŘENÍ.....	10
3.6. MĚŘENÍ NA DPS.....	14
<b>4. PRAKTICKÁ ČÁST – POPIS A POUŽITÍ PROGRAMU ANSYS FLUENT .....</b>	<b>17</b>
4.1. ANSYS 13 .....	17
4.2. VYTVOŘENÍ PROJEKTU .....	19
4.3. VYTVOŘENÍ GEOMETRICKÉHO MODELU .....	20
4.4. VYTVOŘENÍ VÝPOČETNÍ SÍTĚ.....	22
4.5. ZADÁNÍ PARAMETRŮ SIMULACE - SETUP FLUENT .....	23
4.6. GRAFICKÉ ZOBRAZENÍ VÝSLEDKŮ.....	25
4.7. VÝSLEDKY SIMULACÍ PRO TEPLOTU 100 °C .....	27
4.8. VÝSLEDKY SIMULACÍ PRO TEPLOTU 0 °C .....	30
<b>5. ZHODNOCENÍ.....</b>	<b>33</b>
<b>6. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>34</b>

# Seznam obrázků a tabulek

OBR. 1: TEPLITNÍ KOMORA CTS T – 40/25 .....	2
OBR. 2: MODUL OMEGA TC – 08, PŘIPOJENÉ TERMOČLÁNKY.....	4
OBR. 3: ŘEZ TERMOČLÁNKEM [3] .....	5
OBR. 4: TERMOČLÁNEK TYPU K POUŽITÝ PŘI MĚŘENÍ .....	5
OBR. 5: DRŽÁK PRO MĚŘICÍ TERMOČLÁNKY .....	6
OBR. 6: NASTAVENÍ VZORKOVACÍ FREKVENCE A CELKOVÉ DOBY MĚŘENÍ .....	7
OBR. 7: NASTAVENÝ MODUL OMEGA A PŘIPRAVEN PRO MĚŘENÍ .....	7
OBR. 8: NASTAVENÝ TEPLITNÍ CYKLUS OD 0 °C DO 100 °C, 1 – NASTAVENÉ TEPLITY, 2 – KOMOROU NAMĚŘENÉ TEPLITY .....	8
OBR. 9: UMÍSTĚNÍ DRŽÁKU V KOMOŘE .....	9
OBR. 10: ZOBRAZENÍ NAMĚŘENÝCH HODNOT PRO TEPLITU 0 °C .....	10
OBR. 11: ZOBRAZENÍ NAMĚŘENÝCH HODNOT PRO TEPLITU 60 °C .....	11
OBR. 12: ZOBRAZENÍ NAMĚŘENÝCH HODNOT PRO TEPLITU 100 °C .....	11
OBR. 13: NAMĚŘENÝ TEPLITNÍ CYKLUS V 1. HLADINĚ (HLADINY A MĚŘICÍ KANÁLY VYZNAČENY V OBRÁZKU OBR. 10) .....	12
OBR. 14: NAMĚŘENÝ TEPLITNÍ CYKLUS V 5. HLADINĚ (HLADINY A MĚŘICÍ KANÁLY VYZNAČENY V OBRÁZKU OBR. 10) .....	12
TAB. 1: ČÁST ZÁZNAMU NAMĚŘENÝCH HODNOT PRO 1.HLADINU (HLADINY VYZNAČENY V OBRÁZKU OBR. 10).....	13
OBR. 15: PŘIPEVNĚNÍ TERMOČLÁNKU NA DPS .....	14
OBR. 16: UMÍSTĚNÍ DPS V DRŽÁKU .....	14
OBR. 17: ZOBRAZENÍ NAMĚŘENÝCH HODNOT NA DPS PRO TEPLITU 0 °C .....	15
OBR. 18: ZOBRAZENÍ NAMĚŘENÝCH HODNOT NA DPS PRO TEPLITU 100 °C .....	15
OBR. 19: NAMĚŘENÝ TEPLITNÍ CYKLUS NA DPS (MĚŘICÍ KANÁLY VYZNAČENY V OBRÁZKU OBR.17).....	16
OBR. 20: TVORBA SÍTĚ KONEČNÝCH PRVKŮ .....	18
OBR. 21: ZÁKLADNÍ PROSTŘEDÍ PROGRAMU ANSYS WORKBENCH .....	19
OBR. 22: GEOMETRIE MODELU VYTVOŘENÁ V PROGRAMU DESIGN MODELER .....	20
OBR. 23: GEOMETRIE MODELU S UMÍSTĚNÝMI DPS .....	21
OBR. 24: VYTVOŘENÁ VÝPOČETNÍ SÍŤ V PROGRAMU ANSYS MESHING .....	22
OBR. 25: PROSTŘEDÍ PROGRAMU ANSYS FLUENT .....	23
TAB. 2 VLASTNOSTI NASTAVENÉ PRO FLUID - AIR .....	24
TAB. 3 VLASTNOSTI NASTAVENÉ PRO SOLID - STEEL .....	24
OBR. 26: GRAFICKÉ ZOBRAZENÍ VÝSLEDKŮ POMOCÍ PROUDNIC (STREAMLINE) .....	25
OBR. 27: GRAFICKÉ ZOBRAZENÍ VÝSLEDKŮ POMOCÍ „OBJEMOVÉHO RENDEROVÁNÍ“ (VOLUME RENDERING).....	26
OBR. 28: ŘEZ MODELEM „STREAMLINE“ A „VOLUME RENDERING“ .....	26
OBR. 29: ROZLOŽENÍ TEPLITY 100 °C POMOCÍ PROUDNIC (STREAMLINE).....	27
OBR. 30: ZOBRAZENÍ NAMĚŘENÝCH HODNOT PRO TEPLITU 100 °C .....	28

<b>OBR. 31: ROZLOŽENÍ TEPLoty 100 °C POMOCÍ „RENDEROVÁNÍ“ (VOLUME RENDERING)...</b>	<b>28</b>
<b>OBR. 32: OTOČENÝ POHLED PRO ZOBRAZENÍ ROZLOŽENÍ TEPLoty 100 °C V ZADNÍ ČÁSTI KOMORY.....</b>	<b>29</b>
<b>OBR. 33: ZOBRAZENÍ ROZLOŽENÍ TEPLoty PRO TEPLotu 100 °C S DPS UMÍSTĚNÝMI VLEVO .....</b>	<b>29</b>
<b>OBR. 34: ZOBRAZENÍ ROZLOŽENÍ TEPLoty PRO TEPLotu 100 °C S DPS UMÍSTĚNÝMI VPRAVO .....</b>	<b>29</b>
<b>OBR. 35: ROZLOŽENÍ TEPLoty 0 °C POMOCÍ PROUDNIC (STREAMLINE).....</b>	<b>30</b>
<b>OBR. 36: ZOBRAZENÍ NAMĚŘENÝCH HODNOT PRO TEPLotu 0 °C .....</b>	<b>31</b>
<b>OBR. 37: ROZLOŽENÍ TEPLoty 0 °C POMOCÍ „RENDEROVÁNÍ“ (VOLUME RENDERING).....</b>	<b>31</b>
<b>OBR. 38: OTOČENÝ POHLED PRO ZOBRAZENÍ ROZLOŽENÍ TEPLoty 0 °C V ZADNÍ ČÁSTI KOMORY.....</b>	<b>32</b>
<b>OBR. 39: ZOBRAZENÍ ROZLOŽENÍ TEPLoty PRO TEPLotu 0 °C S DPS UMÍSTĚNÝMI VLEVO .....</b>	<b>32</b>
<b>OBR. 40: ZOBRAZENÍ ROZLOŽENÍ TEPLoty PRO TEPLotu 0 °C S DPS UMÍSTĚNÝMI VPRAVO .....</b>	<b>32</b>

# 1. Úvod

Cílem této práce je změřit prostorové rozložení teploty v teplotní komoře CTS (Clima Temperatur System) T - 40/25 pro zadané nastavené teploty a graficky je zobrazit. Dále bude úkolem nasimulovat proudění vzduchu v komoře a sestavit vhodný držák na testované desky tak aby bylo dosaženo rovnoměrného proudění vzduchu na desky, aby teplota v prostoru byla co nejrovnoměrnější. Držák bude navržen na základě simulace teplotního proudění v simulačním programu Ansys.

Prvořadým úkolem je seznámit se s teplotní komorou CTS T – 40/25 a teploměrem Omega TC – 08 využívajícího ke snímání teploty termočlánky typu K. Dalším krokem je sestavit držák podle velikosti komory, na který se budou umísťovat termočlánky pro měření teploty. Poté budu naměřené hodnoty zpracovávat a vyhodnocovat.

V další části práce se na základě naměřených hodnot nasimuluje teplotní proudění v komoře a zhotoví se držák na desky, aby byly v co nejrovnoměrnějším teplotním prostoru.



## 2. Teoretický rozbor

### 2.1. Teplotní komora - obecně

Teplotní komory se nejčastěji používají ve zkušebnictví. Uplatní se zvláště tam, kde je nutnou podmínkou pro uvedení hotového výrobku nebo materiálu na trh jeho funkční nebo životnostní zkouška za různých teplotních podmínek. V teplotní komoře tedy můžeme pozorovat dlouhodobé chování výrobků při nastaveném teplotním průběhu. Zabudované mikroprocesory řídí nejen ventilační ale i ostatní systémy, které umožňují dosahovat rychlých teplotních změn. Tím je dosaženo ochlazení vnitřního prostoru u nejnovějších komor ze 180 °C na - 40 °C za přibližně 80 minut a za pouhých 20 minut lze vnitřní prostor komory vyhrát z - 40 °C na 180 °C. Teplotní komory lze snadno propojit s počítačem pomocí rozhraní RS 232 nebo USB a tak můžeme na dodaném softwaru nastavit jednotlivé teplotní průběhy a dále s nimi pracovat.

### 2.2. Teplotní komora CTS (Clima Temperatur System)

Firma CTS je mladou dynamickou společností, která se specializuje na konstrukci a vývoj technicky vysoce vyspělých zařízení pro simulaci povětrnostních podmínek - životnostní zkoušky. Navíc disponuje dlouhou praxí v tomto oboru, novou tovární halou postavenou v roce 2000 a vybavenou nejmodernějšími technologiemi výroby. [1]

Firma CTS je schopna dodat zákazníkům široký rozsah modelů ve standardních provedeních nebo komory v jakémkoliv nestandardním řešení dle individuálních požadavků zákazníka. Pro zákazníky dodavatelé zajišťují rozsáhlou síť záručního i pozáručního servisu nejvyšší kvality s krátkou dobou dostupnosti

Teplotní komora, na které jsem prováděl měření, je značena jako **CTS T – 40/25**.

**Z označení vyplývají tyto parametry:**

**C** – jedná se o klimatickou komoru

**TS** – jedná se o teplotní komoru s velkou rychlostí teplotních změn

**T – 40/25** – T = teplotní komora

- 40 = minimální pracovní teplota ve stupních Celsia

25 = objem zkušebního prostoru v litrech

Teplotní komora je běžná komora řízená integrovaným mikroprocesorem.

Pracovní rozsah této komory je -40°C až 180°C, a objem vnitřního prostoru 25 litrů. Ovládání komory je možné přes ovládací panel umístěný přímo na teplotní kostře teplotní komoře nebo přes počítač pomocí rozhraní RS 232, kterým komora disponuje.

## **Konstrukce komory:**

Komora CTS je vyrobena z vysoce kvalitního lakovaného pozinkovaného plechu a pracovní prostor je vždy vyroben z nerezové oceli třídy 1.4301 s důrazem nejvyšší kvality. Dosahují velmi nízkých hodnot hlučnosti a jsou nenáročné na provozní náklady.

Teplotní senzor PT100 a kapacitní senzor vlhkosti velmi přesně monitorují podmínky uvnitř teplotní komory a řídicí jednotka neprodleně reguluje výkon chlazení, topení a zvlhčovače. Teplotní komora používá ekologickou chladicí kapalinu. [1]

## **Příslušenství:**

Komory CTS jsou standardně vybaveny celou řadou užitečných prvků jako například:

- průchodka na boku komory
- nerezová police s držáky na stěně pracovního prostoru
- interface RS232
- CTS výstup mikroprocesorového řízení zabudovaný na dveřích komory
- měření relativní vlhkosti kapacitním systémem
- uzamykatelné dveře
- nízko-hlučná chladicí jednotka

Mezi volitelné prvky výbavy patří například:

- 6-ti vrstvé vyhřívané okno ve dveřích komory
- software CTS CID Pro v2.00 včetně kabelu pro propojení
- interface RS485
- mobilní design
- a mnoho dalších prvků dle specifikace zákazníka [1]



**Obr. 1: Teplotní komora CTS T – 40/25**

## 2.3. Modul Omega TC-08

K měření teplot v teplotní komoře jsem používal, modul Omega TC-08, který umožňuje měření teplot pomocí termočlánků ve vysokých teplotách, modul lze snadno propojit s počítačem, a pomocí dodávaného softwaru modul nastavit. Naměřené hodnoty teplot se zaznamenávají do souboru, ze kterého lze potom jednoduše hodnoty exportovat buď do grafu, nebo do textového souboru a dále s nimi pracovat.

### **Omega TC – 08 (8 - Channel USB Thermocouple Data Acquisition Module)**

Omega TC-08 je 8 - kanálový USB modul k měření teplot. TC-08 pomocí termočlánků sbírá data pro modul, modul TC-08 je určen pro měření v širokém rozsahu teplot pomocí libovolného termočlánku, který končí v miniaturní velikosti konektoru termočlánku. Navíc TC-08 může měřit pomocí dalších čidel v rozsahu  $\pm 70$  mV. Díky vestavěné kompenzaci studeného konce (konců), TC-08 má efektivní měřicí rozsah od  $-270$  až  $1820$  ° C (teplotní rozmezí závisí na použitém typu termočlánku).

Modul TC-08 lze použít s termočlánsky typu J, K, T, E, R, S, B a N a na výstupu lze zobrazit výsledky ve stupních F, C nebo mV. Jednotka s přesností 0,2 procenta  $\pm 0,5$  ° C a má rozlišení lepší než 0,1 ° C pro většinu typů termočlánků.

Modul TC-08 se připojuje k USB portu počítače s operačním systémem Windows a umožňuje hostitelské PC automaticky detekovat TC-08, nejsou potřeba žádné složité postupy při instalaci a nastavení. TC-08 je napájen přímo z USB sběrnice, takže není potřeba externího napájecího zdroje, tím je TC-08 ideální pro měření teploty jak v laboratoři nebo v terénu.

Konektivita modulu TC-08 USB umožňuje připojení až dvaceti modulů TC-08 pro sběr dat, aby mohly být použity současně na jednom počítači. Modul TC-08 je ideální pro použití jako velký multi-kanálový systém snímání teploty s výrazně nižšími náklady na jeden kanál než u jiných měřicích systémů tohoto typu. Nízká doba převodu z modulu TC-08 znamená, že během jedné vteřiny můžeme provést snímání teploty až desetkrát, zatímco vysoké 20 bitové rozlišení zajišťuje, že modul TC-08 může detekovat nepatrné změny teploty. S modulem TC-08 můžeme měření provést rychle a přesně. Jednoduše připojíme modul TC-08 do USB portu v počítači, připojíme termočlánsky a jsme připraveni k měření teploty.

Pomocí dodávaného softwaru TC-08 Logging Recorder, můžeme konfigurovat více (USB), u modulu TC-08, lze nastavit vzorkovací interval od 0,1 sekund až po několik hodin a nastavit maximální počet měření. Můžeme také nastavit, co má modul dělat, když termočlánek měření dokončí, jestli má měření ukončit (stop) nebo měření okamžitě opakovat (začít znovu), lze použít funkci scroll (nejstarší záznamy zmizí), nebo provést opakované měření se zpožděním (kdy je zpoždění nastavené uživatelem). Pomocí softwaru lze provádět i matematické operace na výstupu termočlánku, například výstup jedné teploty ve vztahu k jinému. Použitím softwaru TC-08 Logging Recorder lze naměřená data zobrazit v grafu nebo v textovém souboru, a dále s nimi můžeme pracovat.

### **Specifikace modulu Omega TC - 08:**

**Počet kanálů:** 8

**Doba převodu:** 100 ms (termočlánek a kompenzace studeného konce)

**Přesnost teploty:**  $\pm 0,2\%$  z hodnoty  $\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$

**Přesnost napětí:**  $\pm 0,2\%$  z hodnoty  $\pm 10\text{ mV}$

**Ochrana proti přetížení:**  $\pm 30\text{ V}$

**Maximální souhlasné napětí:**  $\pm 7,5\text{ V}$

**Vstupní rozsah (napětí):**  $\pm 70\text{ mV}$

**Rozlišení:** 20 - bit

**Typů termočlánků:** B, E, J, K, N, R, S, T

**Vstupní konektory:** Miniaturní termočlánek

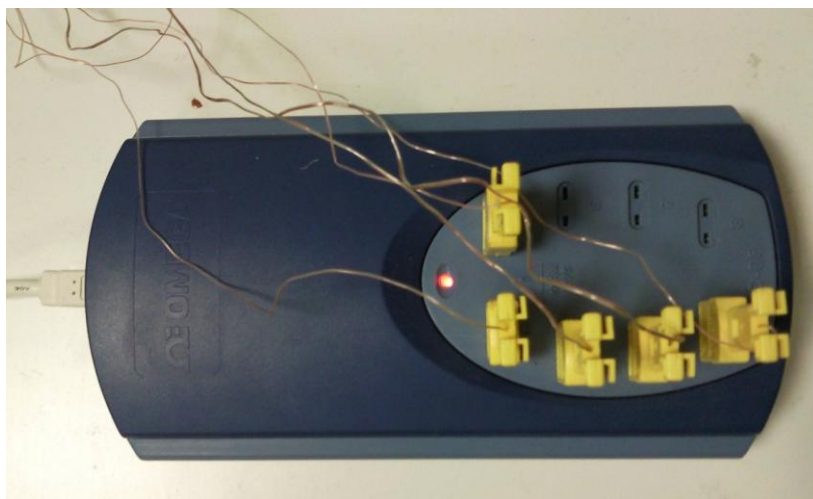
**Výstupní konektor:** USB

**Připojení k PC:** USB 1.1

**Napájení:** z USB portu

**Rozměry:** 201 x 104 x 34 mm

**Dodávaný software:** TC-08 Logging Recorder



**Obr. 2: Modul Omega TC – 08, připojené termočlánky**

## 2.4. Termočlánek

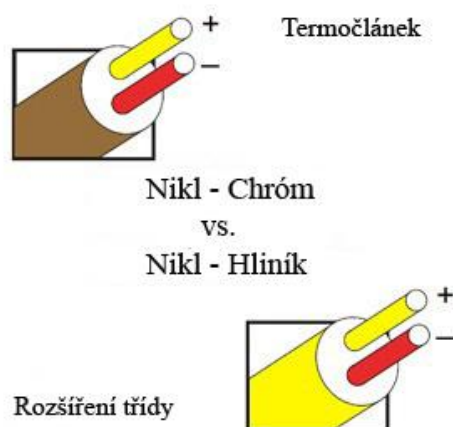
Termočlánek je snímač teploty. Je vytvořen ze dvou různých kovů, které jsou spojeny v jednom bodě. Při zahřívání a chlazení tohoto spoje dvou kovů, vzniká termoelektrické napětí. Termočláňkové slitiny jsou dodávány jako dráty.

Termočláňky jsou k dispozici v různých kombinacích nebo kalibracích. Každý typ kalibrace má různý teplotní rozsah a pracovní podmínky, ačkoliv se maximální teplota mění dle průměru drátu použitého na termočlánek, tzn. s velmi tenkým drátem nelze dosáhnout plného rozsahu teploty.

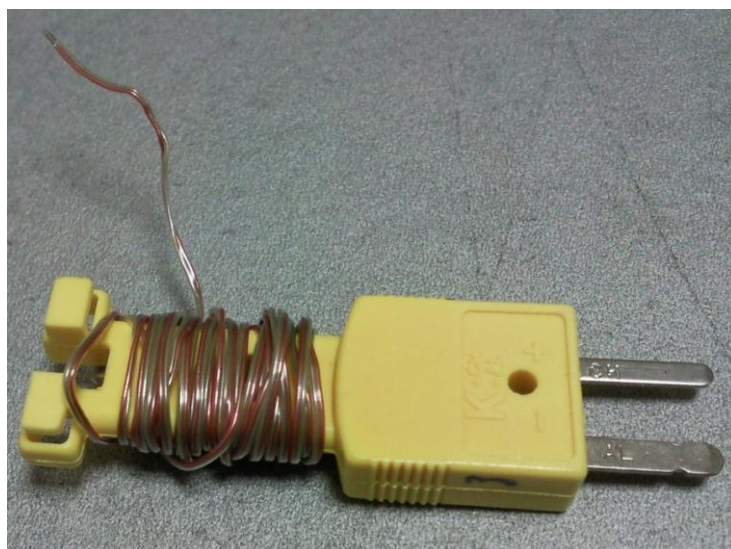
Termočlánek s nechráněným spojem má spoj vystrčený vně z konce pláště a je tak vystaven okolní atmosféře. Tento typ má odezvu, ale maximální teplota může být nižší a je omezeno použití pouze na suché aplikace.

K mému měření jsem použil termočlánek typu K s nechráněným spojem dvou kovů.

Termočlánek typu K je složen ze dvou kovů Chromel – Alumel (Cr-Al), s rozsahem teplot -200°C až 1250 °C.



Obr. 3: Řez termočláňkem [2]



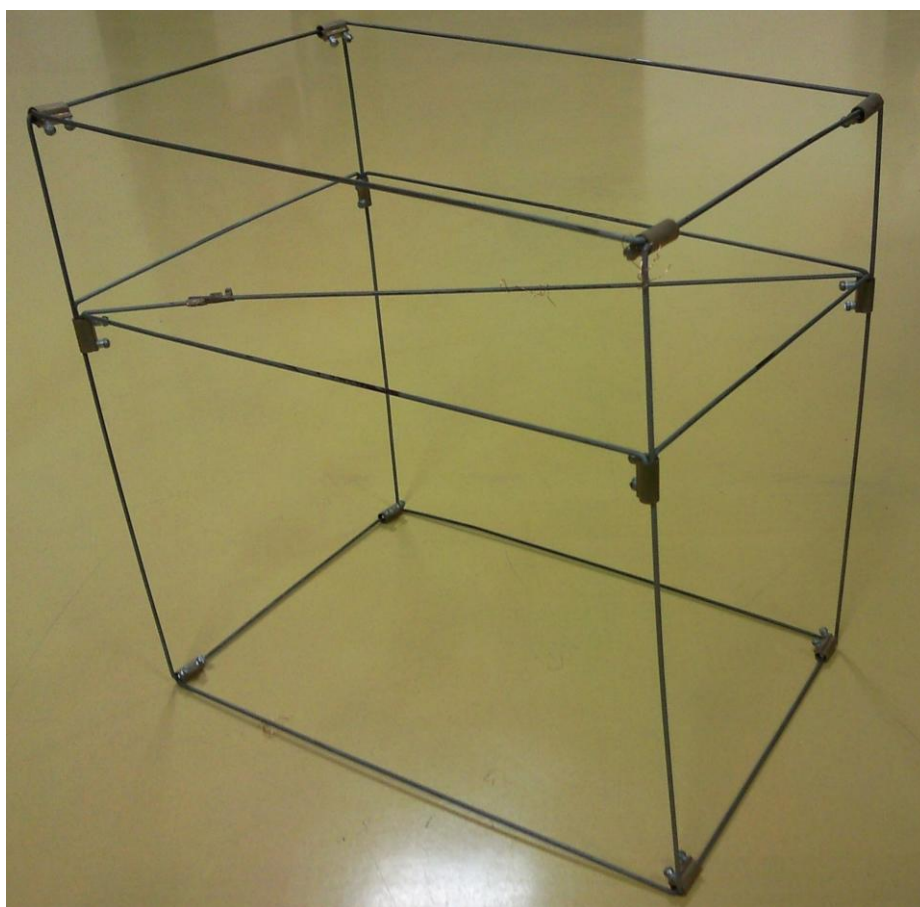
Obr. 4: Termočlánek typu K použitý při měření

### 3. Praktická část - měření

Úkolem v praktické části je sestrojení držáku pro měřicí termočlánky. Dále seznámit se s programovou obsluhou měřicího modulu Omega TC – 08 a obsluhou teplotní komory CTS. Po změření teplot v komoře, naměřené hodnoty vyhodnotím a graficky zobrazím. Na základě grafického zobrazení najdu místa s největší a nejmenší odchylkou teploty od nastavené teploty. Nakonec provedu měření na testovacích DPS, které umístím do místa s nejmenší odchylkou teploty a naměřené hodnoty graficky zobrazím.

#### 3.1. Držák pro termočlánky

Vzhledem k tomu, že lepení termočlánků pro měření teploty pomocí pásky po stěnách teplotní komory je nepraktické a nelze umístit termočlánky do prostoru teplotní komory. Rozhodl jsem se sestrojit jednoduchý držák, na který budu umísťovat měřicí termočlánky. K sestrojení jsem použil niple (dráty) do horských kol o průměru 2 mm a svorkovnici (čokoláda) určenou pro drát o průřezu 16 mm<sup>2</sup>, takže jsem svorkovnici bez problému prostrčil 4 dráty.



Obr. 5: Držák pro měřicí termočlánky



### 3.2. Nastavení modulu Omega TC – 08 pomocí programu

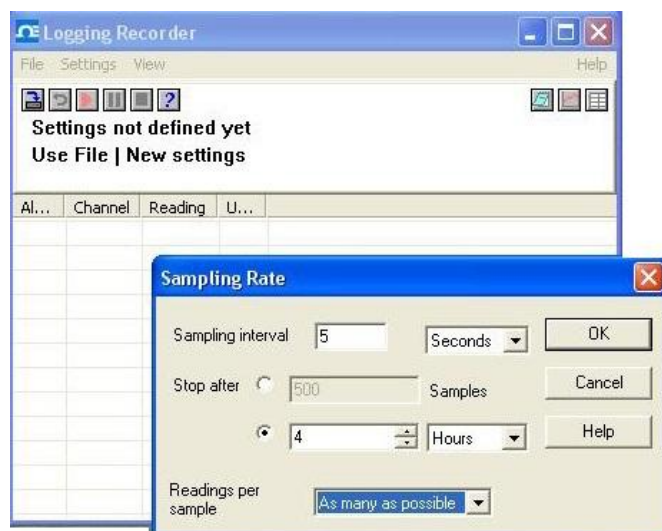
Před započítím samotného měření, jsem se musel pomocí manuálu seznámit s nastavením a funkcemi modulu Omega TC – 08 a programem Logging Recorder.

Po připojení modulu k počítači pomocí USB rozhraní, modul automaticky detekoval připojené termočlánky. Nyní jsem spustil program Logging Recorder, nejprve jsem v záložce nastavení (Settings) musel povolit kanály na modulu, ve kterém jsou připojeny termočlánky, poté nastavit jejich typ v mém případě typ K, případně jméno termočlánku (např. Channel 1), lze ještě povolit filtr a jiné nastavení, ty jsem ale nepoužíval.

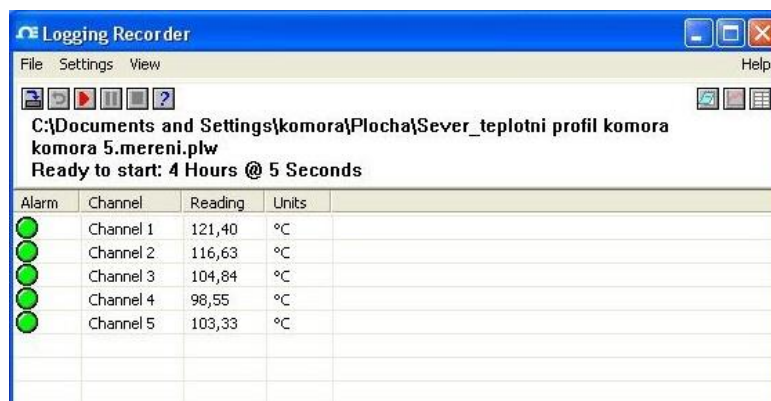
Dále jsem musel nastavit typ zaznamenávání (Recording), jako první jsem nastavil metodu záznamu na neustále zaznamenávání v reálném čase (Real time continuous), další nastavenou položkou bylo nastavení ukončení záznamu po uběhnutí nastaveného času pro měření, restart zpoždění jsem nechal nastavený na jedné minutě.

Posledním nastavením je vzorkovací frekvence (Sampling rate), kde jsem nastavil vzorkovací interval na 5 vteřin (snímání teploty každých 5 s), a ukončení měření po 4 hodinách, během této doby proběhne v komoře necelých 5 cyklů.

Když bylo vše potřebné nastavené, stačilo vytvořit nový soubor, do kterého se data budou ukládat a spustit záznam měření.



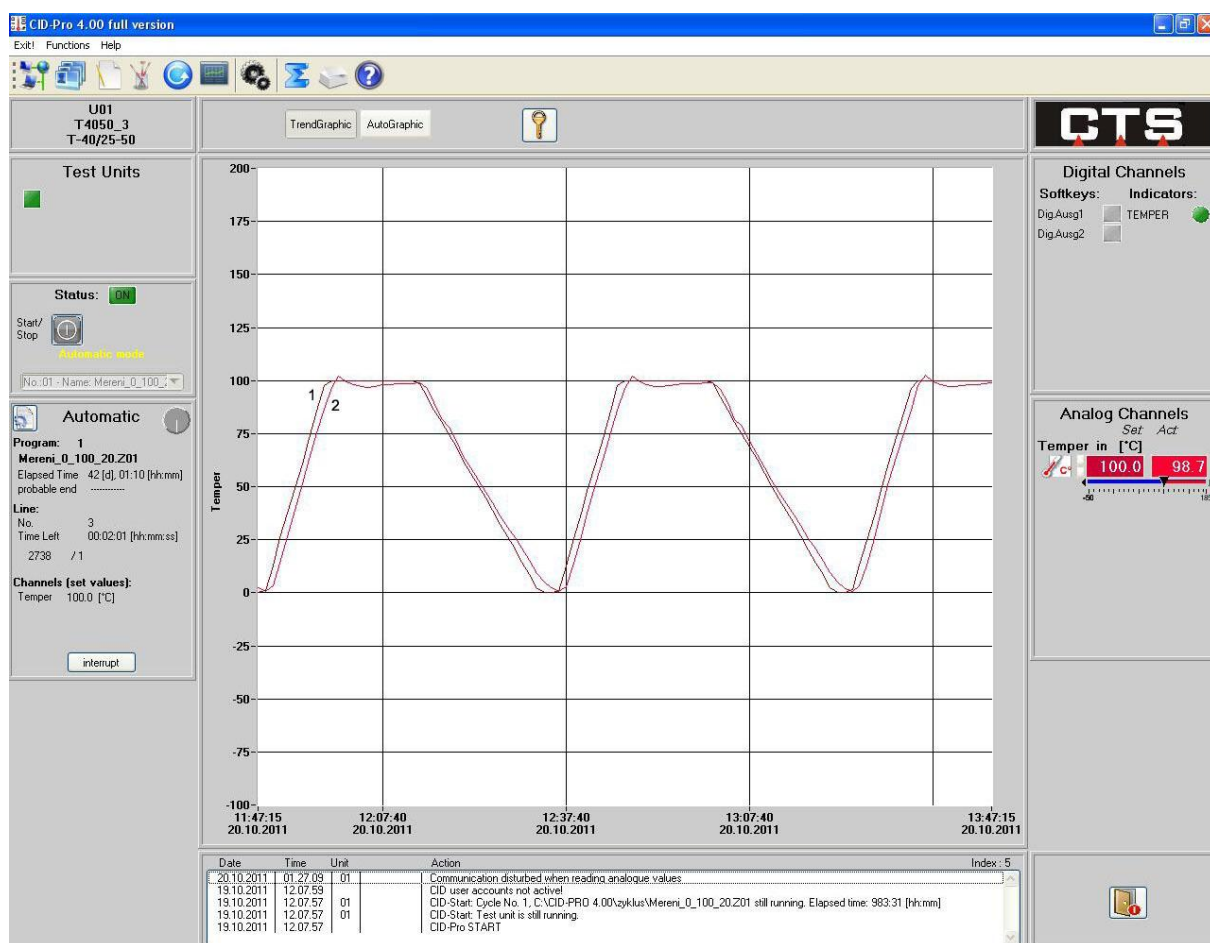
Obr. 6: Nastavení vzorkovací frekvence a celkové doby měření



Obr. 7: Nastavený modul Omega a připraven pro měření

### 3.3. Nastavený teplotní profil

V programu CTS CID-Pro 4.00, který slouží k vytváření teplotních cyklů pro teplotní komoru, je nastaven cyklus, který se neustále opakuje. Jeden cyklus trvá cca. 50 minut tedy vyhřátí i ochlazení komory. Program zároveň vykresluje graf průběhu cyklu, kde zobrazuje nastavenou teplotu a aktuální teplotu, snímanou senzory v komoře, z grafu již vyplývají malé odchylky teplot. Cyklování je nastavené na teploty od 0 °C do 100 °C. Na grafu, ve kterém je zobrazen cyklus viz. obr. 8 lze vidět, že teploty naměřené senzory v komoře, jsou o trochu vyšší než nastavené. A teploty, které jsem naměřil termočlánky, dosahují hodnot od -5 °C do 120 °C, průběhy jsou zobrazeny v následující kapitole 3.5.



Obr. 8: Nastavený teplotní cyklus od 0 °C do 100 °C, 1 – nastavené teploty, 2 – komorou naměřené teploty



### 3.4. Měření teploty v komoře

Pro měření teplot v teplotní komoře byly použity termočlánky typu K. Do teplotní komory jsem umístil sestrojený držák o rozměrech vnitřního prostoru komory. Na něj jsem umístil celkem pět termočlánků, které jsem měl k dispozici, tak že čtyři byly v rozích držáku a jeden uprostřed. Termočlánky jsem k držáku připevnil pomocí slabého měděného drátku, tak aby se snímací část termočlánku nedotýkala drátu držáku nebo stěn komory a nebylo tím ovlivněno měření.

Provedl jsem měření v 5 hladinách s odstupem 6 cm, celkem jsem tedy v komoře změřil teplotu ve 25 bodech. Po každém měření v dané hladině jsem naměřené hodnoty uložil do souboru pro pozdější exportování.



Obr. 9: Umístění držáku v komoře

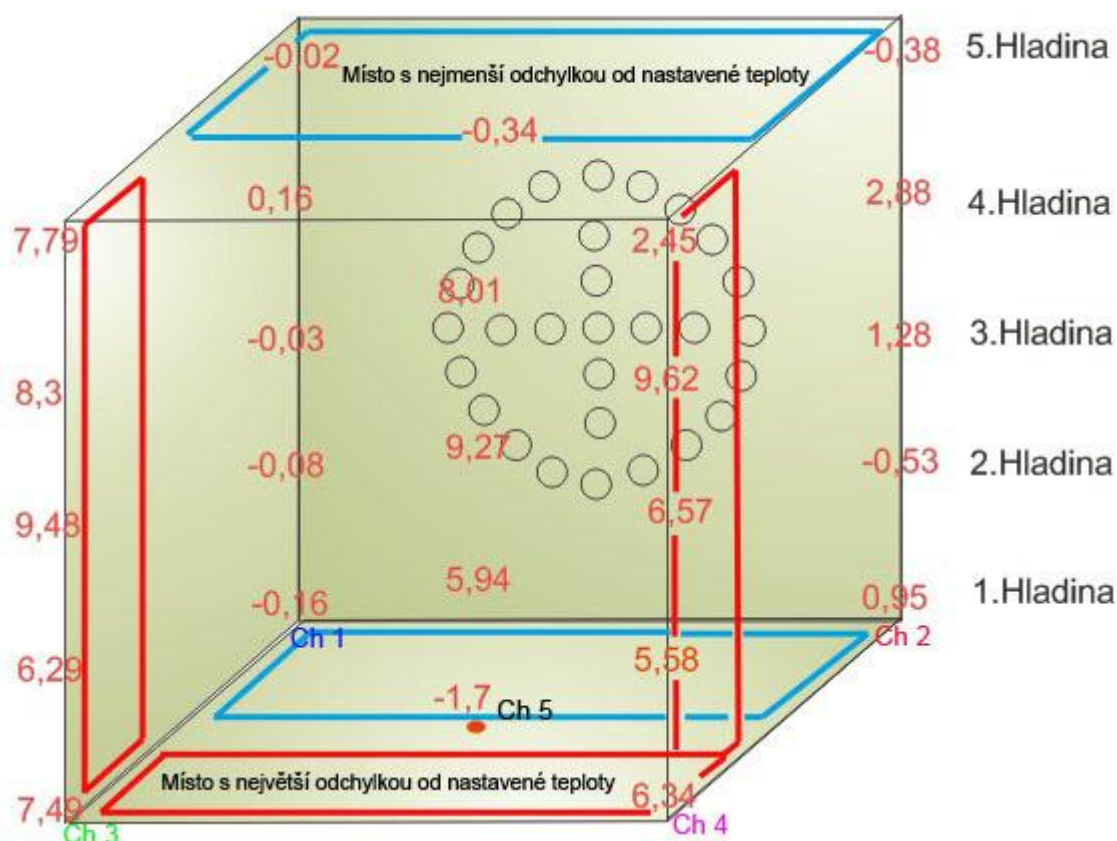
### 3.5. Vyhodnocení měření

Po dokončení měření jsem naměřené hodnoty exportoval do grafu. Z grafu je patrné, že se teplota v některých místech komory liší až o 20%. Nejnižší teplota je tedy u dvířek a nejvyšší u větráku (zdroj teplotního proudění). V grafu viz. obr. 10 jsou kanály 1,2 termočlánky umístěné u větráku, kanály 3,4 jsou termočlánky u dvířek a kanál 5 je termočlánek umístěný uprostřed měřené hladiny (první hladina – spodek komory).

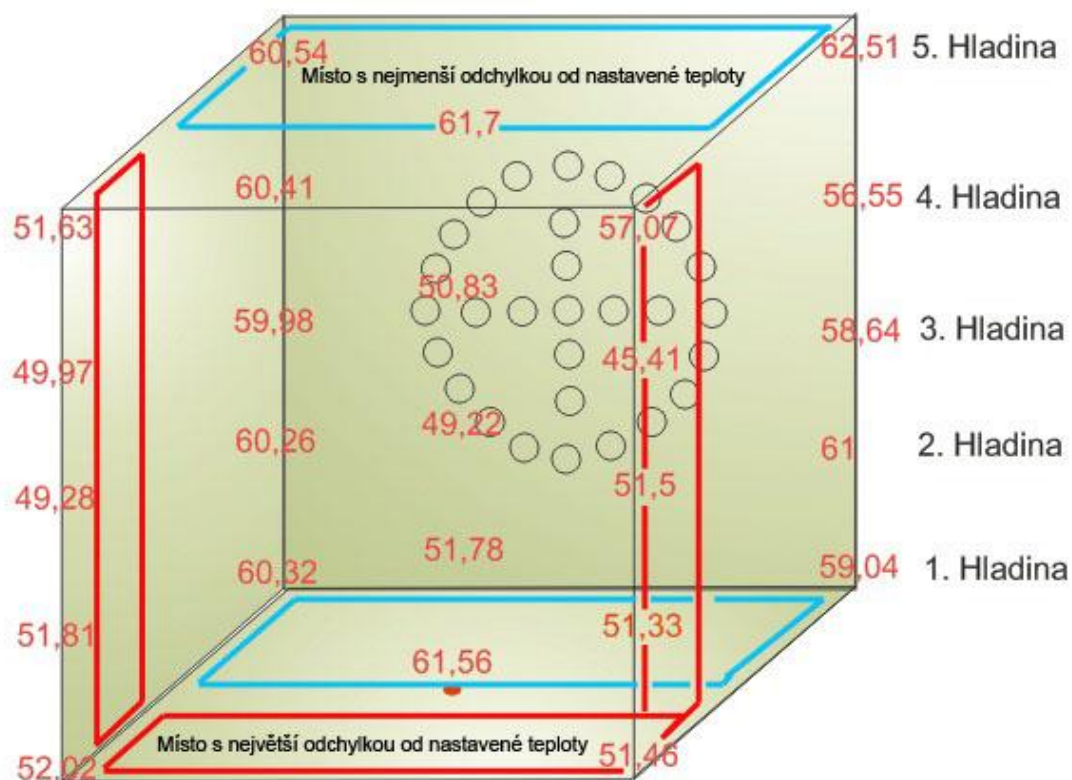
V grafu viz. obr. 14 je měření v nejvyšší hladině, kde už se i teplota u dvířek přibližuje teplotě u větráku.

V tabulce viz. tab. 1 je část záznamu naměřených hodnot pro měření v první hladině. Z tabulky jsou patrné teplotní rozdíly v jednotlivých bodech měření.

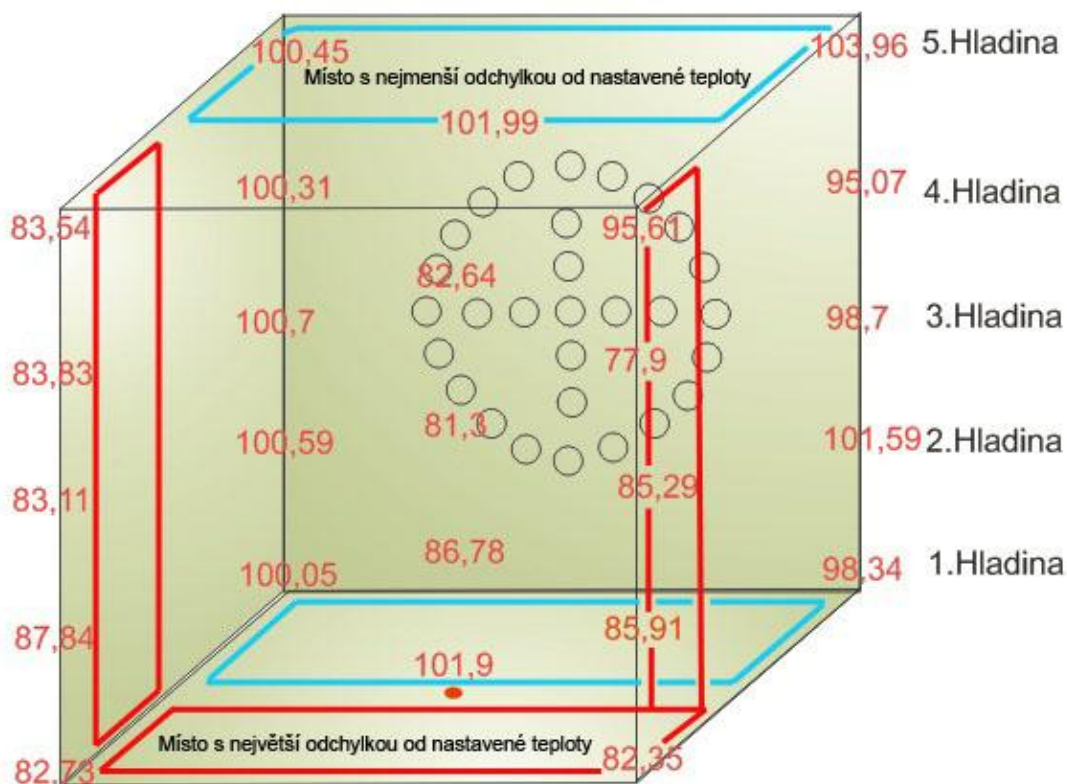
Pro přibližné zobrazení naměřených teplot jsem vzal z každé měřené hladiny řádek s nejbližší teplotou 0 °C, 60 °C a 100 °C u větráku a zaznamenal do schéma držáku na termočlánky viz. obr. 9. Z obrázku je patrné, že nejvyšší teplota se vyskytuje v levém a pravém zadním rohu. V tomto místě jsem později provedl měření teploty přímo na testovacích deskách.



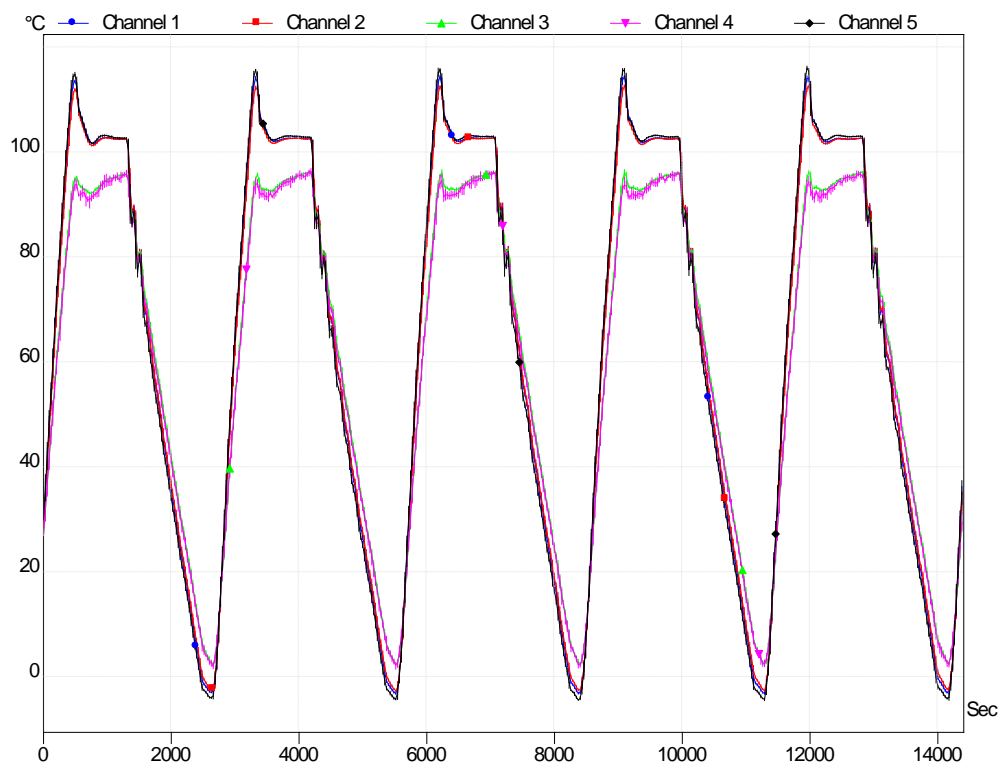
Obr. 10: Zobrazení naměřených hodnot pro teplotu 0 °C



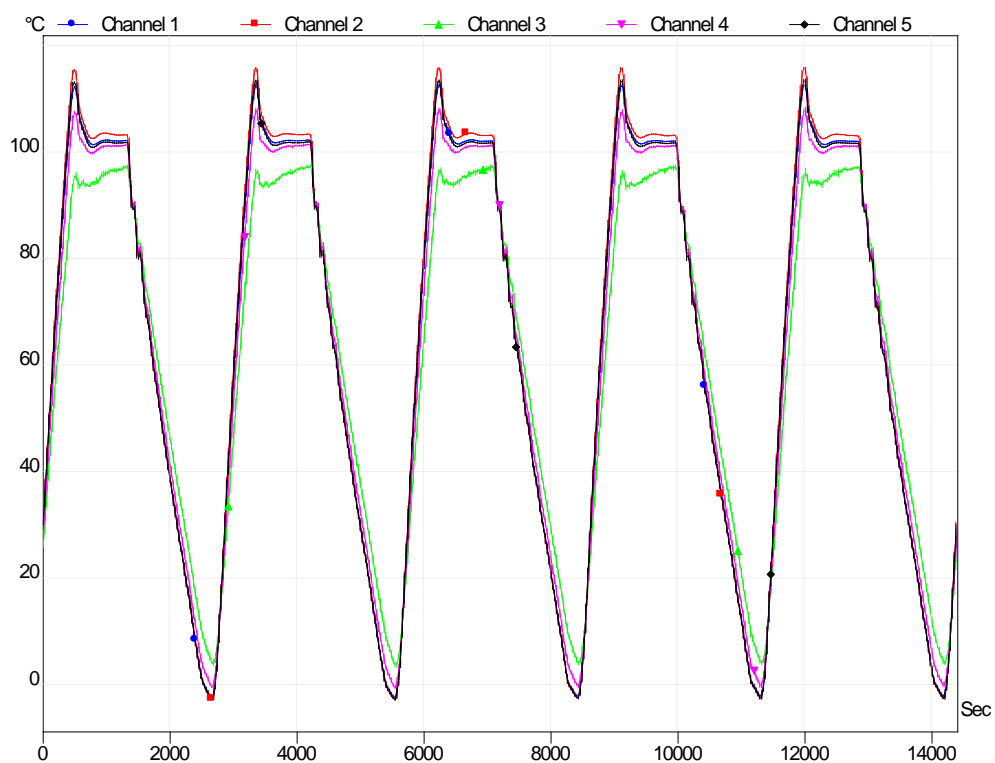
Obr. 11: Zobrazení naměřených hodnot pro teplotu 60 °C



Obr. 12: Zobrazení naměřených hodnot pro teplotu 100 °C



**Obr. 13: Naměřený teplotní cyklus v 1. hladině (hladiny a měřící kanály vyznačeny v obrázku obr. 10)**



**Obr. 14: Naměřený teplotní cyklus v 5. hladině (hladiny a měřící kanály vyznačeny v obrázku obr. 10)**

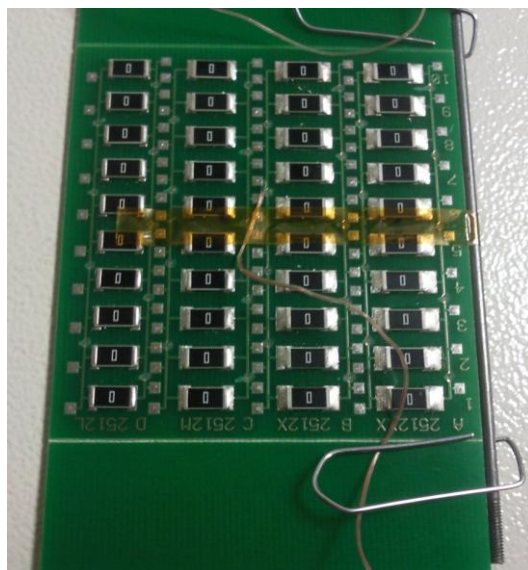
**Tab. 1: Část záznamu naměřených hodnot pro 1.hladinu (hladiny vyznačeny v obrázku obr. 10)**

Time	Channel 1	Channel 2	Channel 3	Channel 4	Channel 5
	°C	°C	°C	°C	°C
0:50:00	57,69	58,4	49,07	49,22	48,66
0:50:05	58,7	59,49	50,12	49,93	49,38
0:50:10	59,72	60,49	50,97	50,88	50,08
0:50:15	60,98	61,66	51,98	51,39	51,08
0:50:20	61,85	62,67	52,89	52,63	52,08
0:50:25	62,84	63,77	53,78	53,64	52,8
0:50:30	63,97	64,79	54,76	54,46	53,93
0:50:35	64,99	65,87	55,73	55,35	54,52
0:50:40	65,91	66,87	56,57	56,07	55,36
0:50:45	66,93	67,87	57,33	57,11	56,48
0:50:50	68,04	68,91	58,38	57,61	57,06
0:50:55	69,03	69,97	59,07	58,5	58,34
0:51:00	70,05	71	60,07	59,38	58,64
0:51:05	71,08	72	61,14	60,67	59,99
0:51:10	71,94	72,9	61,78	60,98	60,91
0:51:15	72,97	73,96	62,75	62,27	61,49
0:51:20	74,01	74,99	63,46	63,04	62,77
0:51:25	74,89	75,88	64,36	63,53	63,44
0:51:30	75,8	76,95	65,28	64,9	64,31
0:51:35	76,9	77,91	66,25	65,19	65,55
0:51:40	77,85	78,76	67,07	65,81	65,79
0:51:45	78,84	79,75	68	66,74	66,26
0:51:50	79,65	80,65	68,83	67,91	67,43
0:51:55	80,72	81,51	69,78	68,77	68,19
0:52:00	81,53	82,5	70,48	69,34	69,33
0:52:05	82,55	83,57	71,34	69,95	70,21
0:52:10	83,38	84,4	72,25	71,15	70,71
0:52:15	84,22	85,28	73,01	71,84	71,64
0:52:20	85,2	86,24	73,68	72,43	72,54
0:52:25	86,01	86,88	74,47	73,14	73,73
0:52:30	86,81	87,82	75,27	74,21	74,46
0:52:35	87,78	88,64	76	74,75	75,04
0:52:40	88,6	89,52	76,97	75,75	75,65
0:52:45	89,45	90,37	77,77	76,09	75,86
0:52:50	90,25	91,28	78,37	77,29	77,47
0:52:55	91,11	91,96	79,02	77,3	77,69
0:53:00	91,96	92,79	79,99	78,47	78,26
0:53:05	92,9	93,69	80,77	79,27	79,11
0:53:10	93,64	94,55	81,46	79,56	80,28
0:53:15	94,6	95,31	82,37	80,46	80,62



### 3.6. Měření na DPS

Po naměření rozložení teplot v teplotní komoře a jejich vyhodnocení, jsem naměřené hodnoty zakreslil do obrázku - viz. obr. 10. Podle vyhodnocení v obrázku jsem našel místo, kde je odchylka naměřené hodnoty co nejmenší od teploty zadané. Do toho to místa jsem umístil testovací desky plošných spojů (DPS), na které jsem umístil termočlánky a provedl měření. Dva termočlánky jsem ještě umístil k větráku na horní a spodní stranu komory, pro přesnější měření v místě s nejmenší odchylkou.

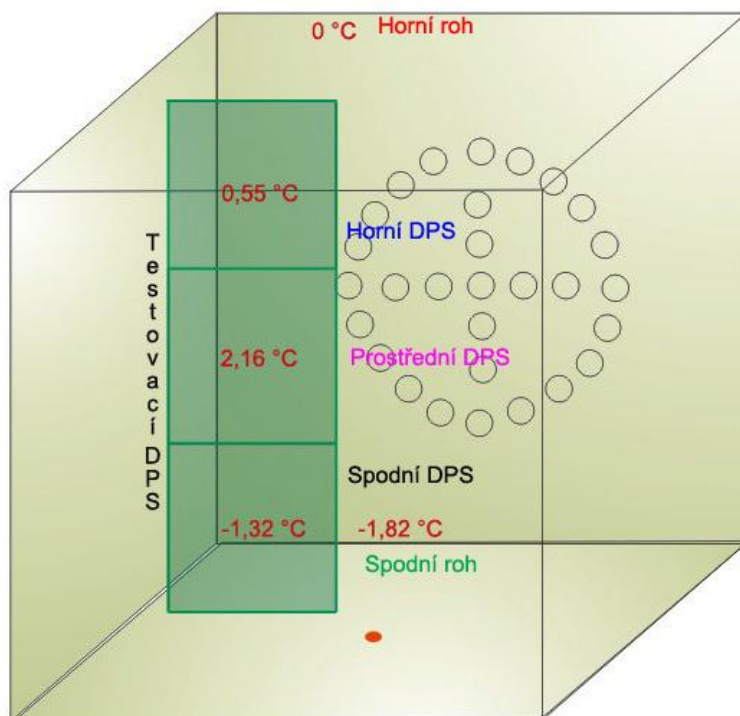


Obr. 15: Připevnění termočlánku na DPS

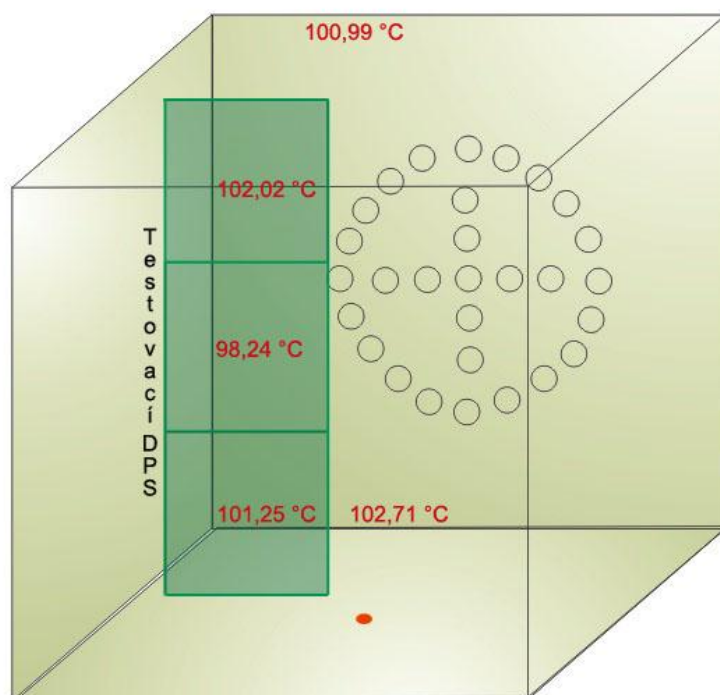


Obr. 16: Umístění DPS v držáku

Na obrázcích níže jsou vyhodnoceny naměřené hodnoty pro teplotu 0 °C a 100 °C. Nejmenší odchylka od nastavené teploty je v místě spodního a horního rohu komory, největší odchylka je tedy uprostřed komory.

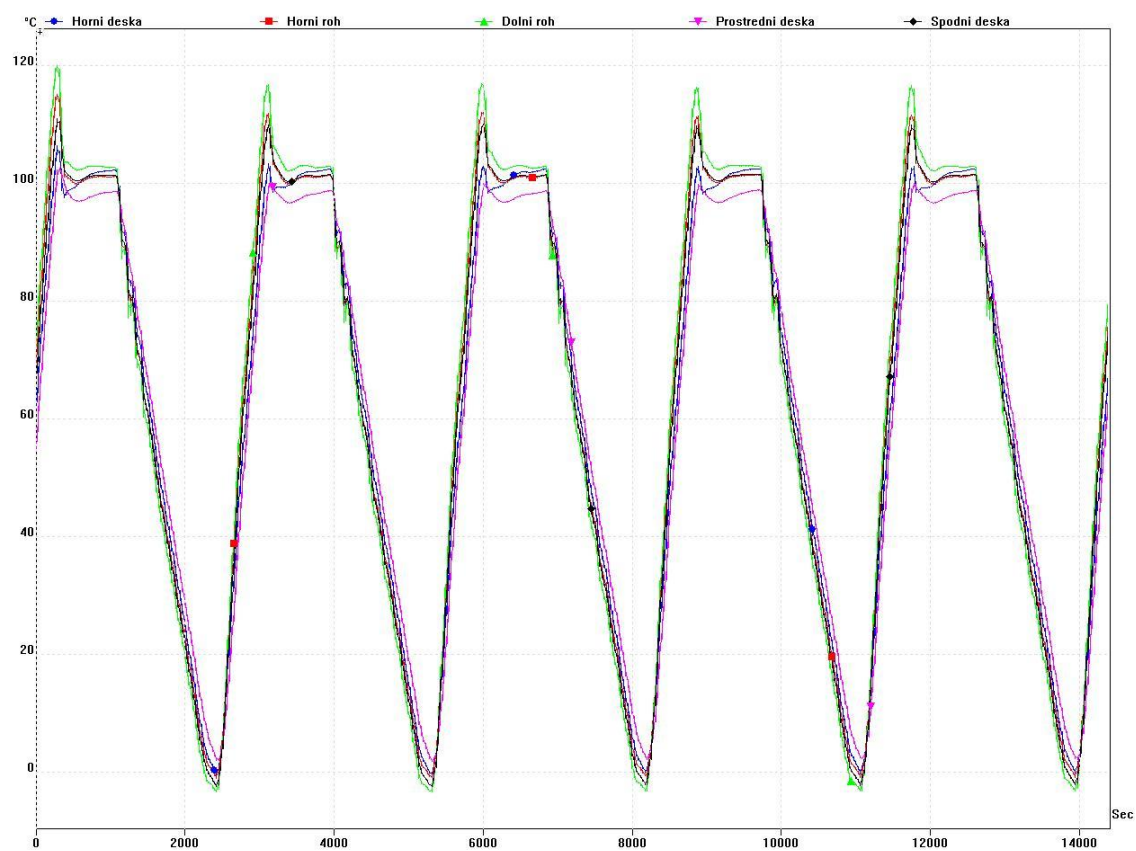


Obr. 17: Zobrazení naměřených hodnot na DPS pro teplotu 0 °C



Obr. 18: Zobrazení naměřených hodnot na DPS pro teplotu 100 °C

Z grafu viz. obr. 19 naměřeného při měření na DPS, lze poznat, že teplotní odchylky v zadní části komory jsou menší než odchylky teplot v celé komoře viz. graf na obr. 13.



**Obr. 19: Naměřený teplotní cyklus na DPS (měřící kanály vyznačeny v obrázku obr.17)**



## 4. Praktická část – popis a použití programu ANSYS Fluent

Jako software pro simulaci byl vybrán ANSYS verze 13. Úkolem praktické části tedy je seznámit se s pracovním prostředím a jednotlivými systémy simulačního programu ANSYS Workbench a vytvořit teplotní simulaci proudění vzduchu, jejímž výsledkem bude zobrazení rozložení teploty v teplotní komoře.

### Postupy při simulaci shrnuty do bodů

1. Definice problému - volba typu úlohy (analýzy)
2. Vytvoření geometrického modelu
3. Mesh - vytvoření výpočetní sítě
4. Zadávání materiálových vlastností
5. Definování okrajových podmínek
6. Nastavení parametrů simulace
7. Samotná simulace a grafické zobrazení výsledků

### 4.1. ANSYS 13

Ansys patří od počátku své existence, od roku 1970 kdy byla společnost založena ke špičkovým inženýrským systémům využívajících metodu konečných prvků. Od začátku je to průkopník multifyzikálních analýz s vedoucí pozicí v klasických oborech, jakými jsou strojírenství, automobilová a dopravní technika, energetika a také stavební aplikace s procesním inženýrstvím. Tento software lze s velkou výhodou používat i v dalších (úzce specializovaných) oborech, jako je např. mikroelektronika nebo biomechanika. [4]

Ansys je programový balík založený na metodě konečných prvků, který je určen pro řešení rozsáhlých lineárních a nelineárních úloh v různých odvětvích: strukturálních, teplotních mechanických, elektromagnetických, atd..

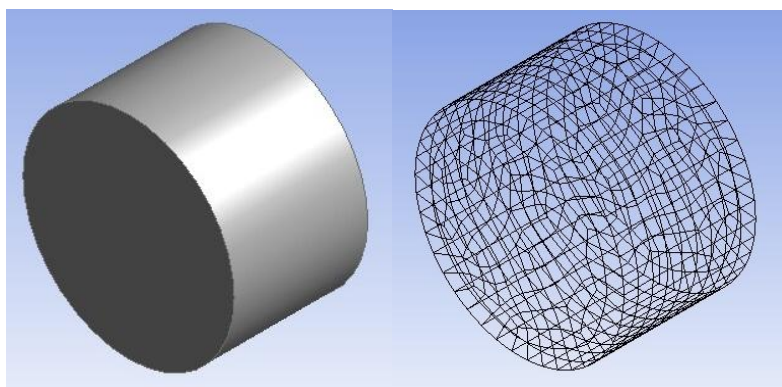
Součástí balíku Ansys Workbench je řada programů pro výpočet pevnosti, dynamiky, teplotních polí, elektromagneticky a analýzu proudění.

Důležitou částí Ansysu Workbench je integrovaný Ansys Meshing, který obsahuje technologie pro vytvoření výpočetní mřížky pro různé typy analýz (CFD, Fluent, atd.).

## Metoda konečných prvků (MKP, anglicky Finite Element Method - FEM)

MKP je numerická metoda sloužící k simulaci průběhů napětí, deformací, vlastních frekvencí, proudění tepla, jevů elektromagnetismu, proudění tekutin atd. na vytvořeném fyzikálním modelu. Její princip spočívá v diskretizaci spojitého kontinua do určitého (konečného) počtu prvků, přičemž zjišťované parametry jsou určovány v jednotlivých uzlových bodech. MKP je užívána především pro kontrolu již navržených zařízení, nebo pro stanovení kritického místa konstrukce. Ačkoliv jsou principy této metody známy již delší dobu, k jejímu masovému využití došlo teprve s nástupem moderní výpočetní techniky. [5]

Historie MKP se datuje od roku 1906, v 60. letech byla popsána v maticovém stavu a to umožnilo její řešení na počítači. V praxi jako první začaly MKP používat programy ANSYS, NASTRAN a ABAQUS. S nástupem CAD systému došlo ke změně uživatelské přívětivosti. Po zavedení grafického prostředí do MKP systémů se změnil způsob práce s výpočty, lze výpočty i graficky zobrazit a zkontrolovat. Obecně platí, že s rostoucím počtem uzlů prvku roste i přesnost výsledku analýzy. S rostoucím počtem uzlů se zvětšují i nároky na kapacitu a výpočetní výkon počítačové sestavy.

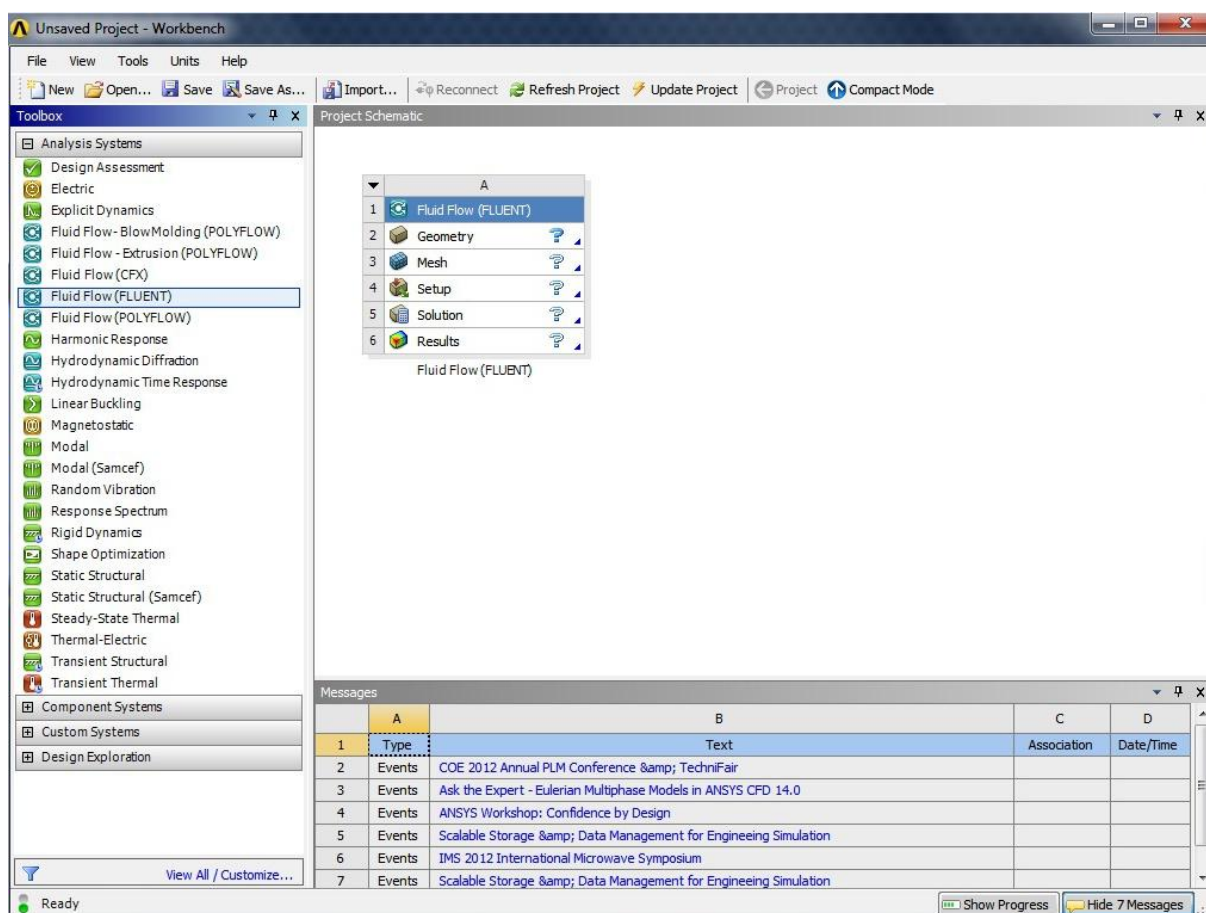


Obr. 20: Tvorba sítě konečných prvků

## 4.2. Vytvoření projektu

Po spuštění ANSYS Workbench je důležité vytvořit a uložit nový projekt, do kterého se budou později ukládat ostatní soubory simulace. V menu (Toolbox) vybereme z nabídky (Analysis Systems) analýzu Fluid Flow (Fluent). Vybranou analýzu přetáhneme do (Project Schematic) a zobrazí se nám jednotlivé komponenty pro vytvoření simulace viz. obr. 21.




ANSYS Fluent je analýza obsahující fyzikální modely a široké možnosti potřebné k modelování proudění, turbulence a přenosu tepla.





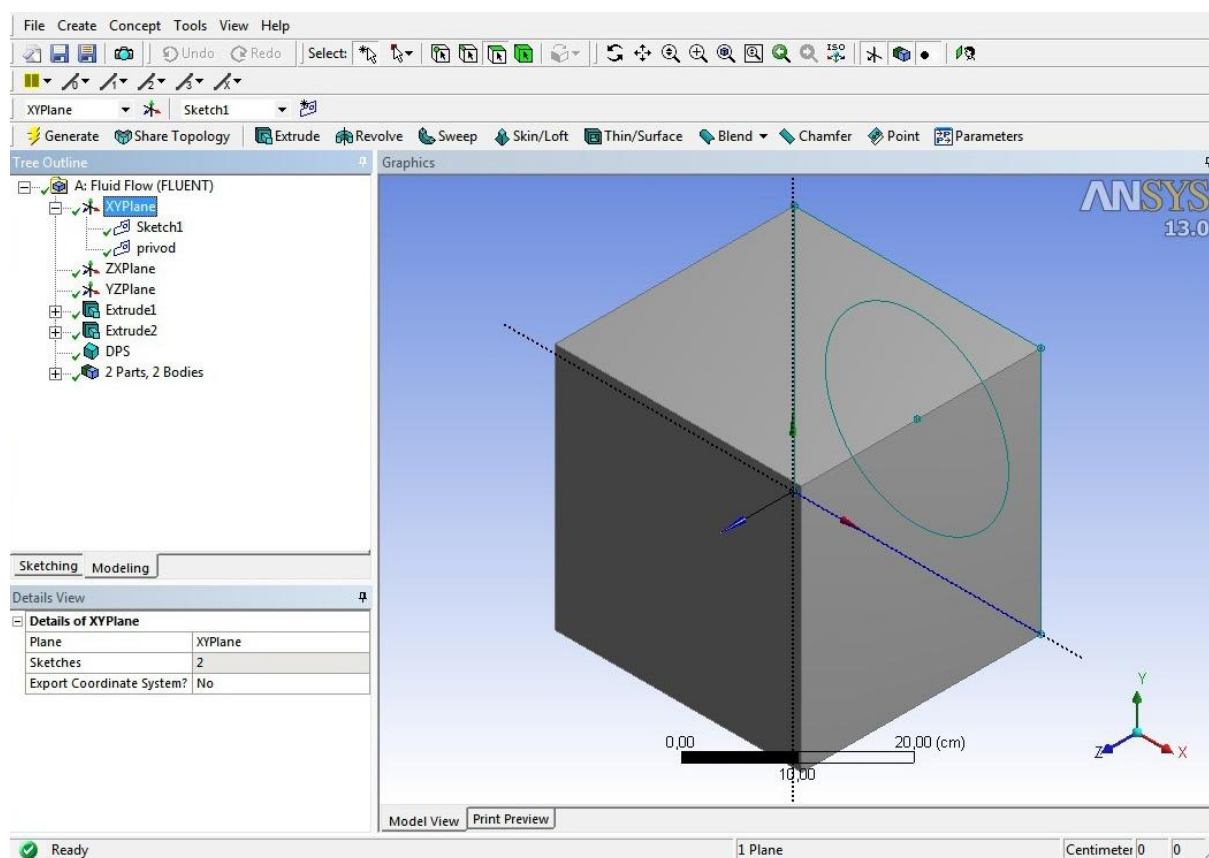
Obr. 21: Základní prostředí programu ANSYS Workbench

### 4.3. Vytvoření geometrického modelu

Ve vytvořeném projektu Fluent analýzy vybereme položku (Geometry) a spustíme Design Modeler, pro vytváření 3D geometrie modelu. Před finálním spuštěním programu Design Modeler se program dotazuje, v jakých jednotkách bude geometrie vytvářena. Tvorba 3D objektu spočívá ve vytvoření 2D plochy, kterou poté vytáhneme do prostoru.




Vytvoření modelu začneme tím, že v kořenové struktuře (Tree Outline) zvolíme v záložce (Modeling) rovinu, ve které budeme kreslit v našem případě  (XY Plane) a přepneme se do záložky (Sketching). V této záložce máme na výběr několik funkcí pro kreslení modelu (např. různé tvary náčrtu, modifikace, úpravy rozměrů a omezení). Po vytvoření náčrtu v rovině XY daných rozměrů, použijeme příkaz  (Extrude) k vysunutí náčrtu do prostoru, v detailech vysunutí zadáme rozměr vysunutí plochy do prostoru, ostatní nastavení ponecháme a příkazem  (Generate) vygenerujeme 3D model.

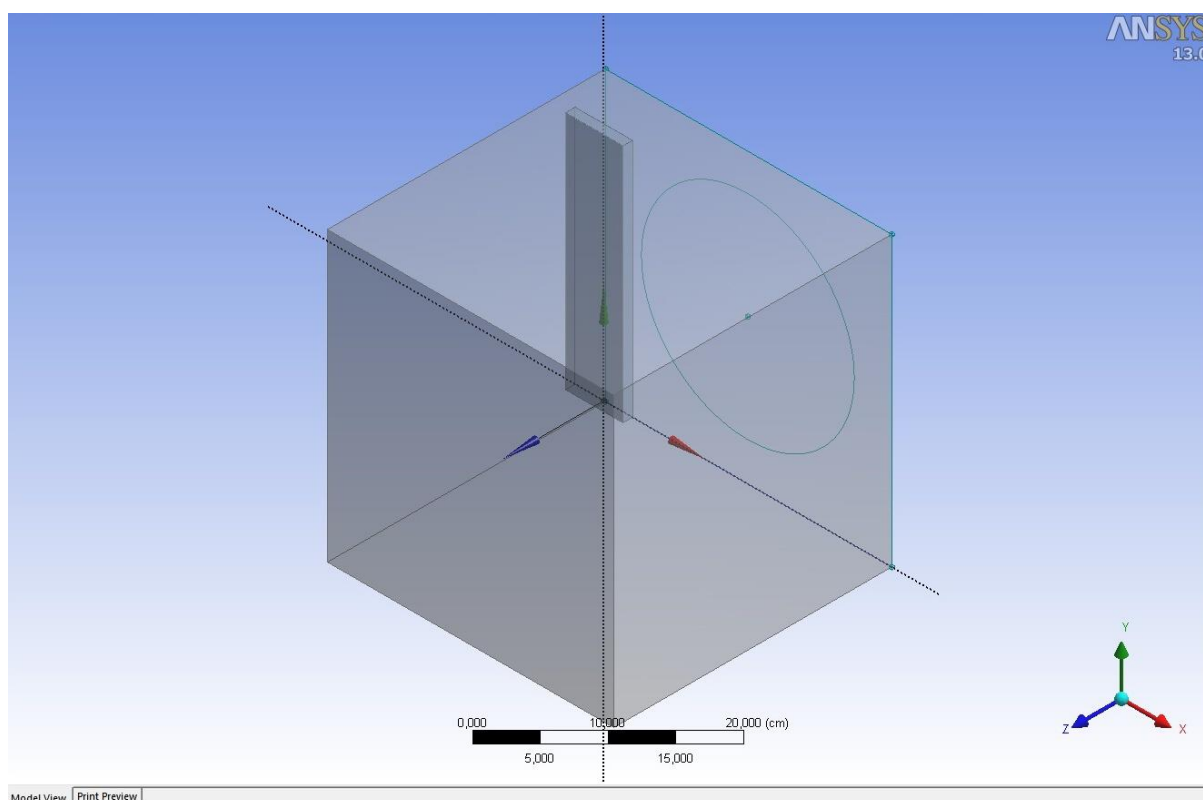
V rovině  (XY Plane) vytvoříme nový náčrt příkazem  (Sketch) a načrtneme kruhový otvor, který bude představovat přívod vzduchu do teplotní komory. Protože ANSYS Fluent v numerických výpočtech pracuje se dvěma druhy oblastí, je potřeba zvolit stěny modelu jako typ solid a vnitřní objem jako fluid.



Obr. 22: Geometrie modelu vytvořená v programu Design Modeler

## Vytvoření modelu s testovacími DPS

K vytvoření modelu s DPS použijeme předchozí model. V kořenové struktuře (Tree Outline) otevřeme vlastnosti položky  (Extrude), z nabídky vybereme (Insert primitives) a do modelu vložíme další model  (Box), pojmenujeme ho DPS, dále zadáme jeho rozměry a pozici XYZ uvnitř modelu, v položce (Operation) zvolíme příkaz (Add Frozen) pro přidání materiálu odděleně, který není sloučen s okolními tělesy a příkazem  (Generate) dokončíme vytvoření modelu.








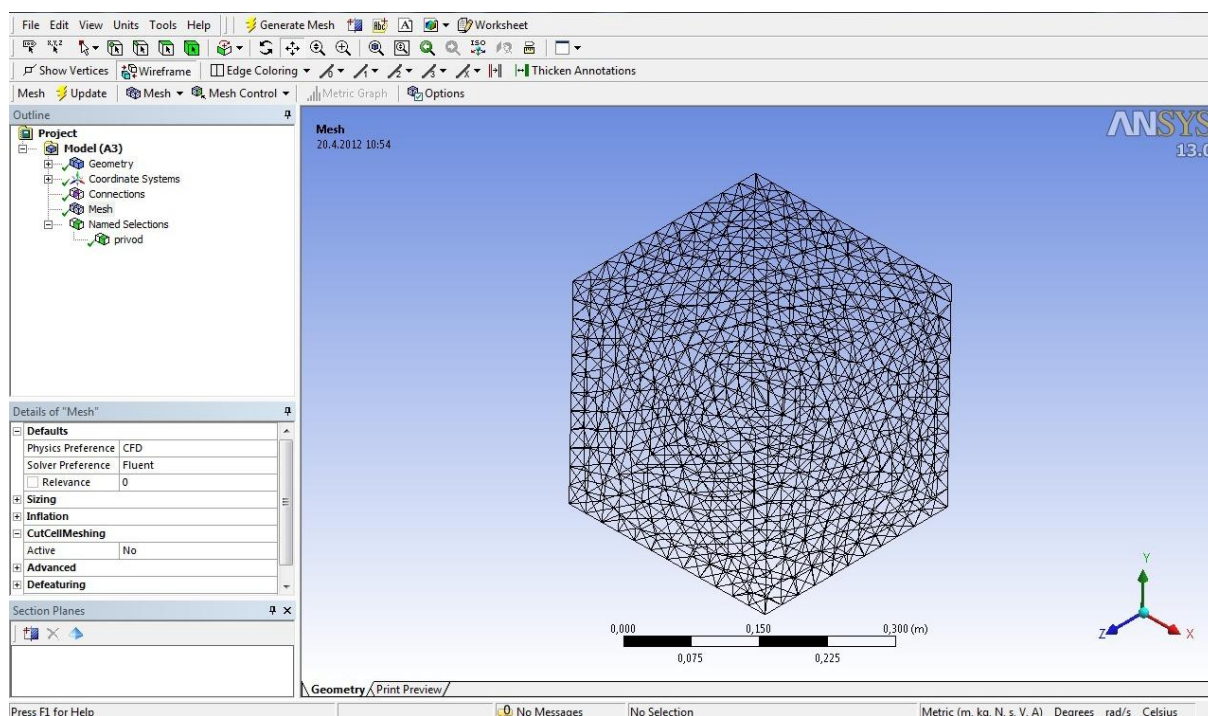
**Obr. 23: Geometrie modelu s umístěnými DPS**

## 4.4. Vytvoření výpočetní sítě

Výpočetní síť vytvoříme pomocí programu ANSYS Meshing, který spustíme z vypracovaného projektu otevřením položky (Mesh), kde již máme vytvořený model v programu Design Modeler. Po spuštění ANSYS Meshing se nás program dotazuje, jakou metodu síťování chceme zvolit. V záložce (Mesh Metod) zvolíme metodu Automatic (Path Conforming/Sweeping), dále v záložce (Physics Preference) zvolíme metodu CFD pro výpočet proudění. Tato metoda používá automatické síťování objektu přizpůsobující se tvaru geometrie.

Po spuštění programu se nám načte 3D geometrie modelu vytvořeného v programu Design Modeler.

V nabídce nástrojů vybereme nástroj  (Face) pro výběr entity z modelu v našem případě výběr plochy. V modelu označíme kruhový otvor a vyvoláme nabídku, ve které zvolíme položku  (Create Named Selection) a entitu pojmenujeme jako přívod, vytvořená entita se zobrazí v kořenové struktuře pod příkazem  (Named Selection). Dále v kořenové struktuře (Outline) zvolíme položku  (Mesh), zde můžeme definovat různé parametry a metody pro vytvoření výpočetní sítě. V našem případě ponecháme původní nastavení parametrů, vygenerované metodou zvolenou při spuštění programu Meshing. Dokončení vytvoření výpočetní sítě, provedeme příkazem  (Generate Mesh). Po vypočítání sítě se nám zobrazí model rozdělený na několik konečných prvků viz. obr. 24.

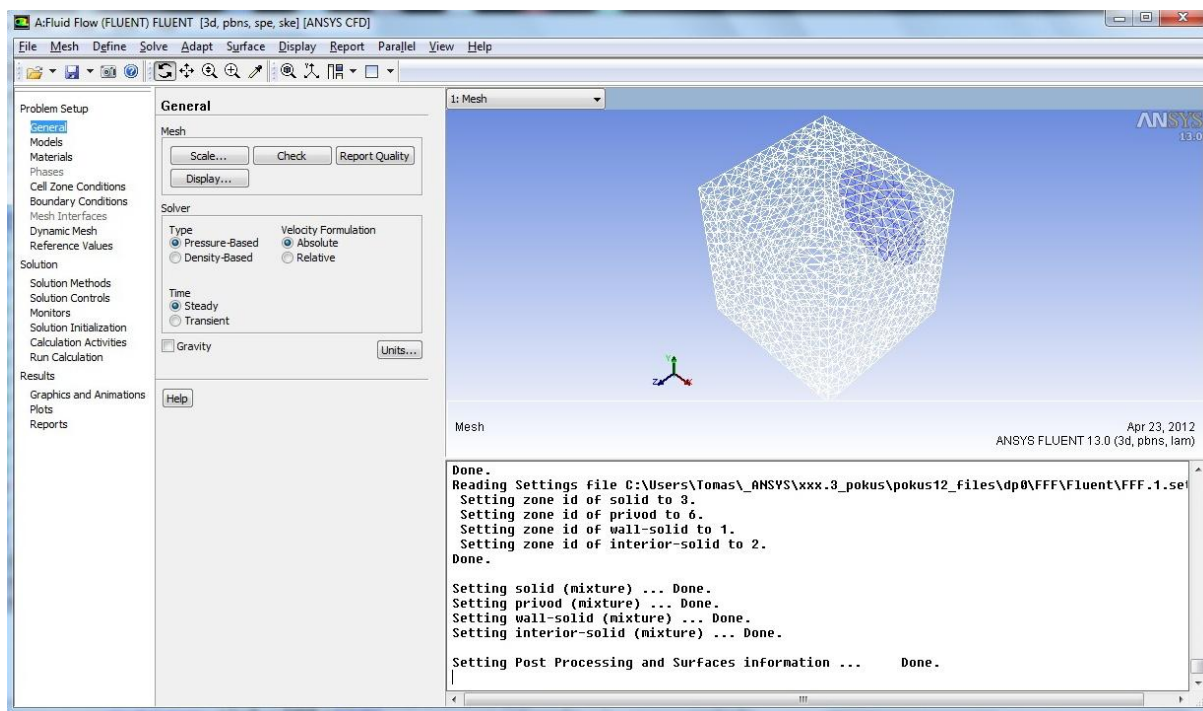


Obr. 24: Vytvořená výpočetní síť v programu ANSYS Meshing



## 4.5. Zadání parametrů simulace - setup FLUENT

Program ANSYS Fluent spustíme přímo z projektu otevřením položky (Setup). Po spuštění programu Fluent se nám automaticky načte výpočetní síť, prostředí programu a výpočetní síť je zobrazena na obrázku obr. 25.



Obr. 25: Prostředí programu ANSYS Fluent

Prostředí programu je rozděleno na čtyři oblasti. V grafickém okně dochází k zobrazení modelu a výsledků numerické simulace atd., dále prostředí obsahuje popisové a příkazové pole, které vypisuje všechny provedené funkce, zobrazuje informativní zprávy a zadávání příkazů pomocí textového pole. V pravé části se nachází nabídka s definičními nástroji, které obsahují všechny nástroje k práci v programu Fluent například definování modelu, okrajových podmínek, materiálové vlastnosti, typy diskretizačních schémat a parametry řešiče, vyhodnocení počítaných proudových veličin, atd.. Roletové menu v horní části obsahuje veškeré příkazy z definičních nástrojů plus další nástroje, které v definičních nástrojích obsažené nejsou.

První položkou je příkaz (Define – General), ve kterém se definují parametry řešiče, zde nastavíme absolutní vyjadřování rychlosti, ustálené proudění a typ (Pressure based).

Příkazem (Models) se definují nejdůležitější parametry z matematického hlediska modelu. V podnabídce příkazu povolíme (Energy Equation) pro přenos tepla. Dále povolíme (Viscous Model), pomocí kterého definujeme, zda se jedná o laminární nebo turbulentní proudění. Pro definování plynné směsi musíme v modelu povolit (Species Model), kde definujeme transport plynné směsi do modelu, jako materiál nastavíme (air – vzduch), vlastnosti vzduchu se automaticky načtou z databáze programu.

Příkazem (Materials) se definují specifikace jednotlivých materiálů. V programu Fluent můžeme definovat tekutiny pojmenované jako „Fluid“ a pevné látky jako „Solid“.

V našem případě jako kapalinu nastavíme vzduch (Fluid – Air) a jako pevnou látku ocel (Solid – Steel). Vlastnosti jednotlivých materiálů načteme z Fluent databáze.

**Tab. 2 Vlastnosti nastavené pro Fluid - Air**

Density (kg/m <sup>3</sup> )	0,946
C <sub>p</sub> (Specific Heat) (J/kg-k)	1009
Thermal Conductivity (W/m-k)	0,0314
Viscosity (kg/m-s)	2.7894e-05

**Tab. 3 Vlastnosti nastavené pro Solid - Steel**

Density (kg/m <sup>3</sup> )	8030
C <sub>p</sub> (Specific Heat) (J/kg-k)	502.48
Thermal Conductivity (W/m-k)	16.27
Electrical Conductivity (1/ohm-m)	8330000
Magnetic Permeability (h/m)	1.257e-06

Příkazem (Cell Zone Conditions) definujeme typ dané oblasti „Fluid nebo Solid“, zvolíme tedy (Fluid) a materiál (Air – vzduch).

Příkazem (Boundary Conditions) definujeme typy okrajových podmínek na příslušných hranicích výpočetní sítě. U 3D modelu definujeme okrajové podmínky jako plochy, okrajové podmínky lze editovat a zobrazovat. Vnitřní objem „Fluid“ nastavíme jako (Interior), stěny modelu jako (Wall) a definujeme parametry stěny, u přívodu vzduchu z ventilátoru zvolíme (Velocity – inlet), zde definujeme rychlost, tlak a teplotu vstupního vzduchu.

Počáteční hodnoty před začátkem numerického výpočtu definujeme příkazem (Solution Initialization), kde v položce (Compute from) vybereme vstupní okrajové podmínky, v našem případě zvolíme část modelu „Přívod“. Záložka (Initial Values) zobrazuje konkrétní počáteční hodnoty rychlost, tlak a teplotu definované v okrajových podmínkách.


Posledním příkazem (Run Calculation) definujeme parametry numerické simulace, kterými jsou počet nastavených iterací a interval záznamu.

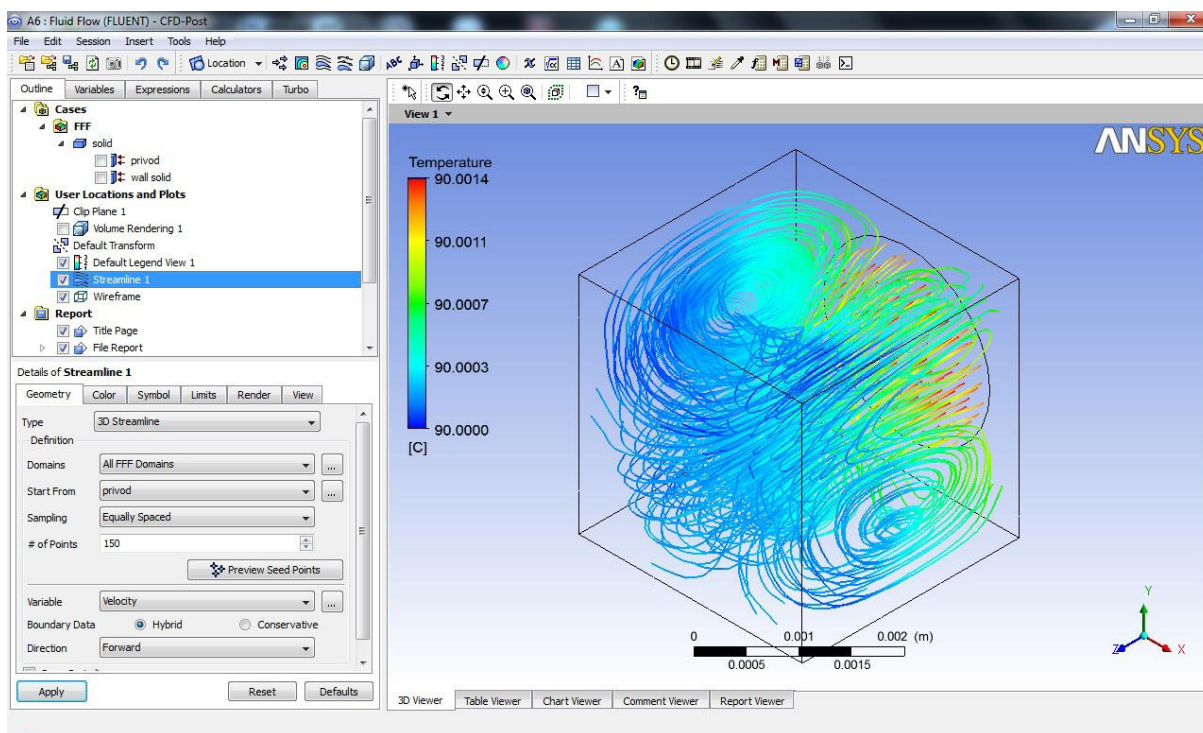


## 4.6. Grafické zobrazení výsledků

Výsledky zobrazíme spuštěním programu (Results) přímo z nabídky projektu. Po spuštění programu se nám zobrazí geometrický model. Prostředí programu je rozděleno na tři části. Největší část prostředí slouží pro grafické zobrazení výsledků, dále máme k dispozici panel s různými nástroji pro zobrazení výsledků a poslední část prostředí tvoří kořenová struktura (Outline), která slouží k definování parametrů námi používaných nástrojů.


### Zobrazení pomocí proudnic (Streamline)

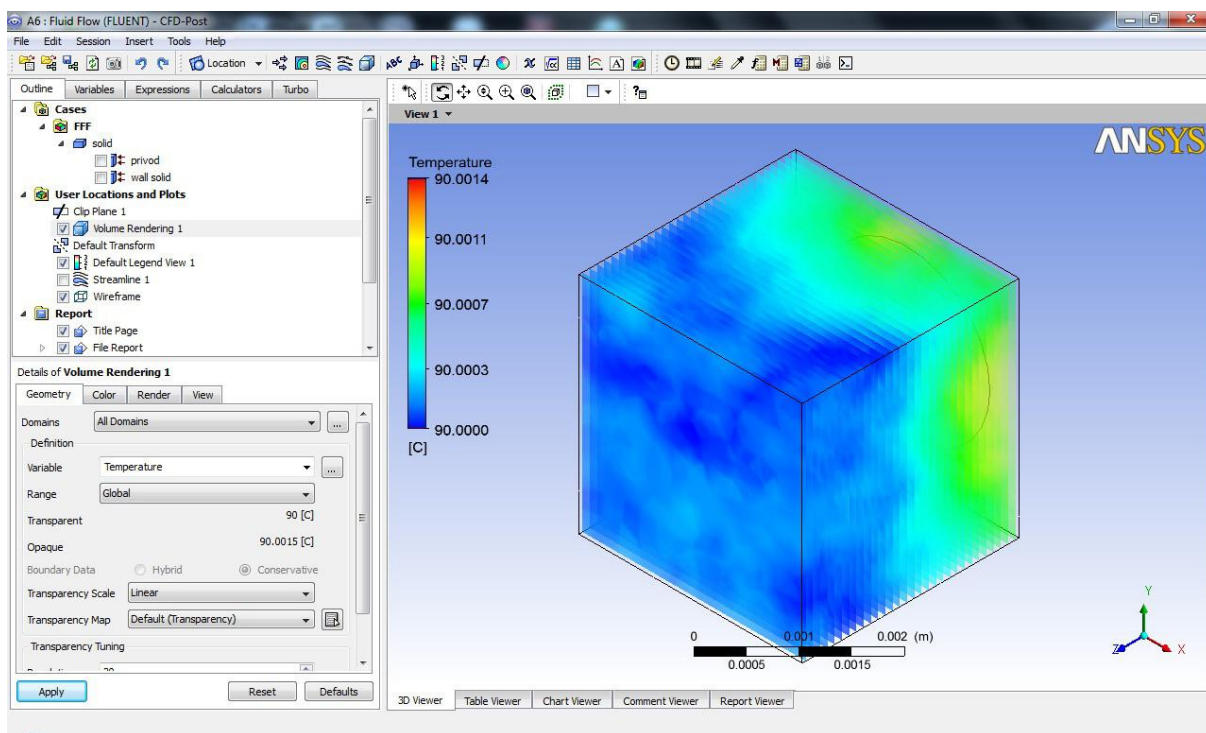
Z panelu nástrojů zvolíme  (Streamline) a nadefinujeme parametry pro zobrazení proudnic. V našem případě definujeme typ a počet zobrazených proudnic, oblast výpočtu „Přívod“, ze které proudnice vycházejí. Dále musíme zvolit jakou veličinu a jednotky budeme zobrazovat a definovat typ zbarvení proudnic. Výsledné zobrazení proudnic je zobrazeno na obrázku obr. 26.



Obr. 26: Grafické zobrazení výsledků pomocí proudnic (Streamline)


## Zobrazení pomocí „Objemového renderování“ (Volume Rendering)

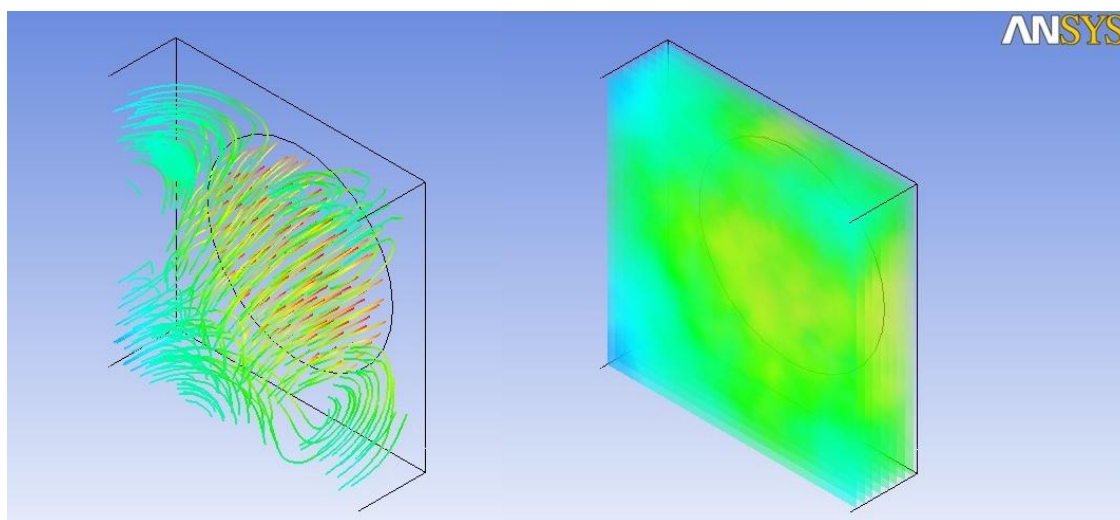
Z panelu nástrojů zvolíme  (Volume Rendering) a nadefinujeme parametry pro grafické zobrazení. Obdobně jako při zobrazení pomocí proudnic definujeme oblast výpočtu, zobrazovanou veličinu, hustotu renderování a typ barevné mapy. Výsledné zobrazení pomocí „Volume Rendering“ je zobrazeno na obrázku obr. 27.



Obr. 27: Grafické zobrazení výsledků pomocí „Objemového renderování“ (Volume Rendering)

## Řez modelem (Clip Plane)

Pro přesné zjištění teploty v určitém místě modelu, lze použít nástroj  (Clip Plane) pro řez modelem. Pro řez si zvolíme rovinu XY a na ose Z definujeme rozměr, ve kterém řez modelem provedeme. Řez modelem se „Streamline“ a „Volume Rendering“ je zobrazen na obrázku obr. 28.



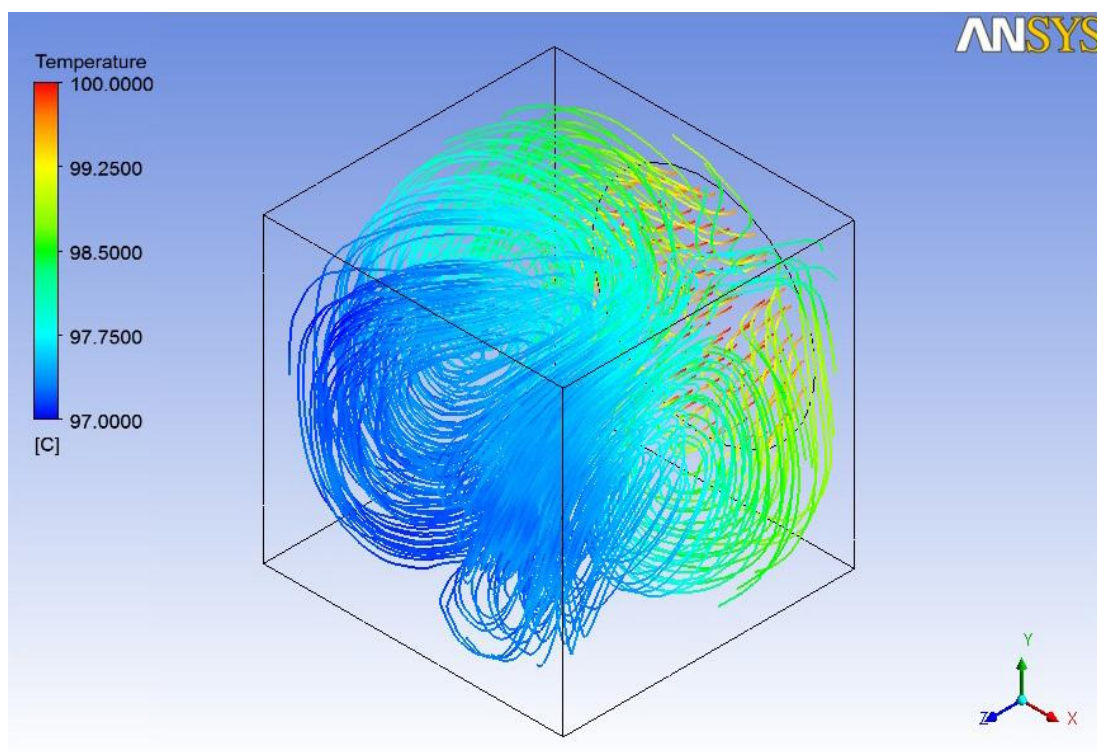
Obr. 28: Řez modelem „Streamline“ a „Volume Rendering“

#### 4.7. Výsledky simulací pro teplotu 100 °C

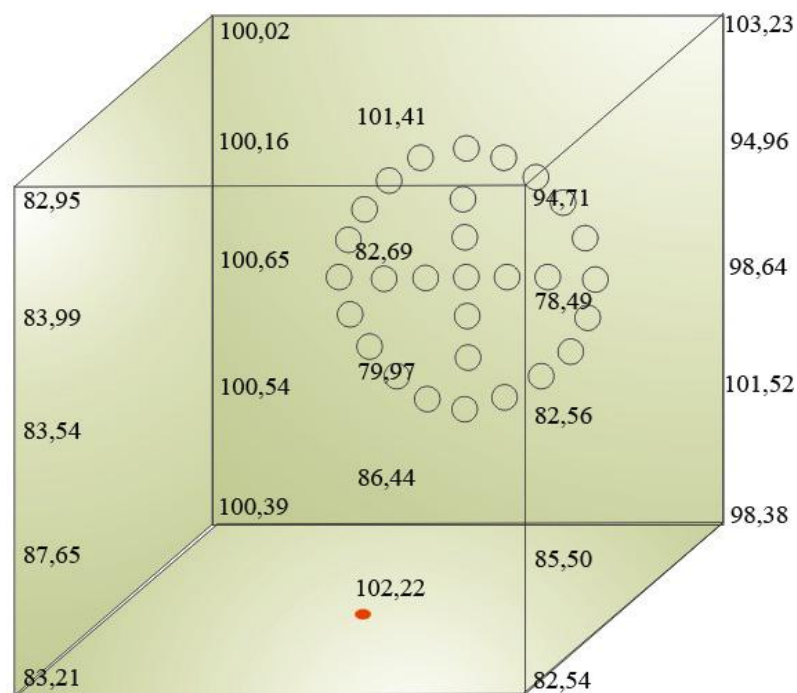
Na obrázcích je grafické vyhodnocení teplotní simulace pro teplotu 100 °C. Modře je v modelu znázorněná oblast s nejnižší teplotou v komoře a červeně je znázorněna oblast se vstupním proudícím vzduchem ohříváným na nastavenou teplotu 100 °C.

Vzhledem k tomu, že neznáme přesné vlastnosti a parametry vnitřních stěn komory a vstupní rychlost a tlak proudícího vzduchu, musel jsem tyto hodnoty zvolit podle svého uvážení. Pro simulaci je zvolena rychlost vzduchu 1 m/s, tlak vzduchu 826,9 kPa, tepelný tok materiálem stěny jsem zvolil  $120 \text{ W/m}^2$  a tloušťku stěny 1,5 mm. Dále bylo nutné zvolit turbulentní intenzitu a hydraulický průměr z těchto parametrů Ansys automaticky vypočítal turbulentní kinetickou energii a turbulentní ztrátový výkon.

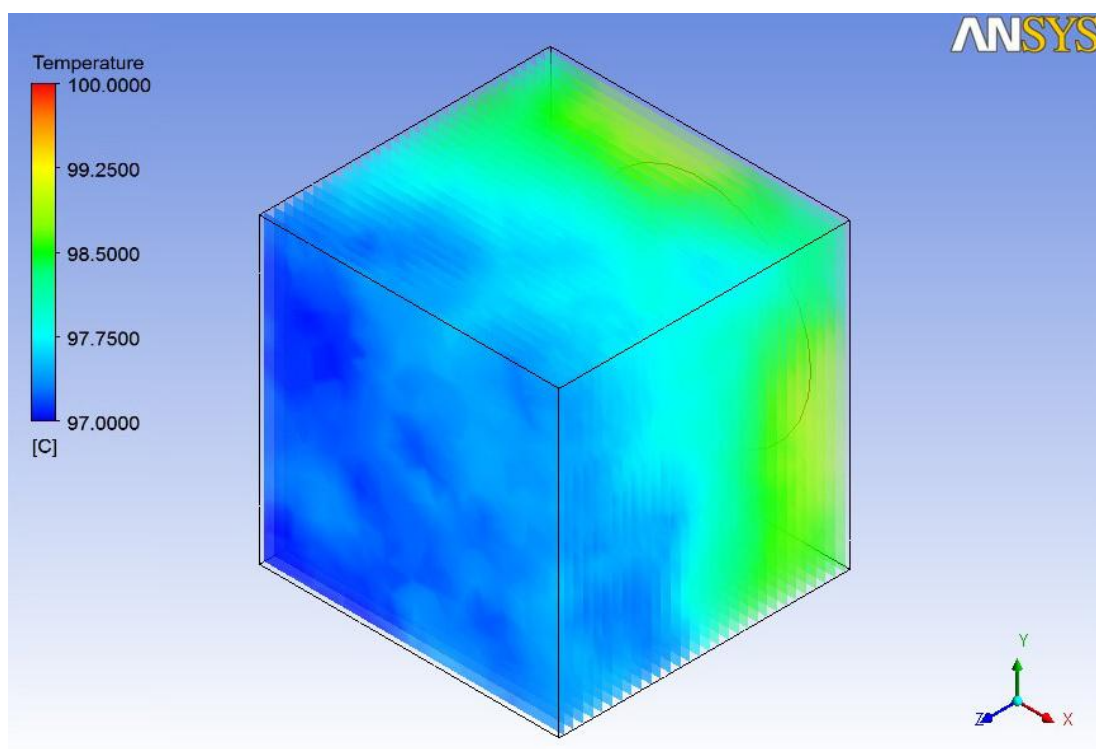
Při porovnání výsledných teplot ze simulace a hodnot naměřených, jsou odchylky teplot větší u naměřených hodnot, je to způsobeno tím, že neznáme přesné vstupní parametry. Z naměřených hodnot dále vyplývá, že největší odchylky teplot jsou při ohřívání komory, naopak nejmenší při ochlazování komory. Tyto odchylky jsou způsobeny tepelným tokem materiálu a rychlými změnami teplot v komoře, teplota v komoře se nemůže ustálit při dané teplotě.



Obr. 29: Rozložení teploty 100 °C pomocí proudnic (Streamline)

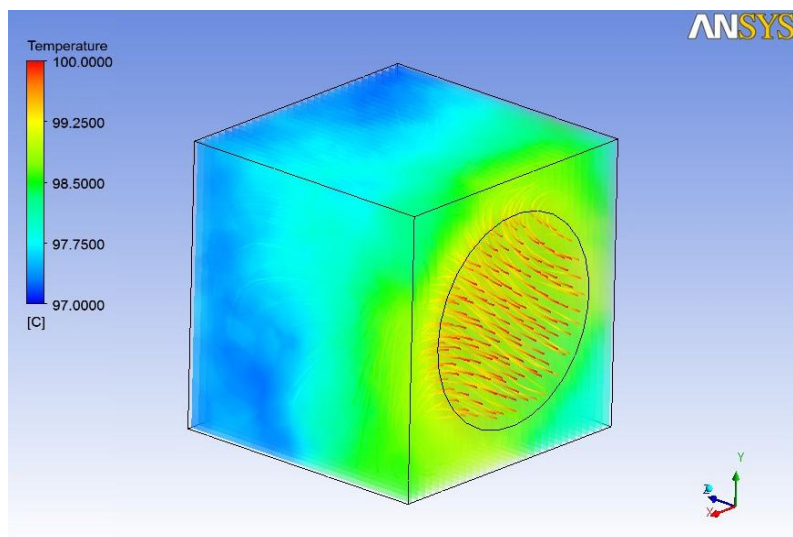


Obr. 30: Zobrazení naměřených hodnot pro teplotu 100 °C



Obr. 31: Rozložení teploty 100 °C pomocí „renderování“ (Volume rendering)

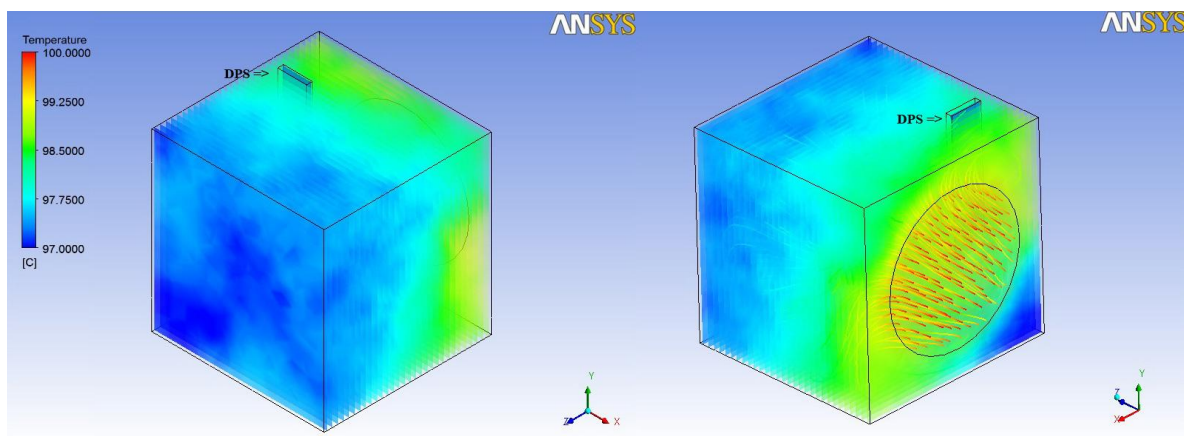




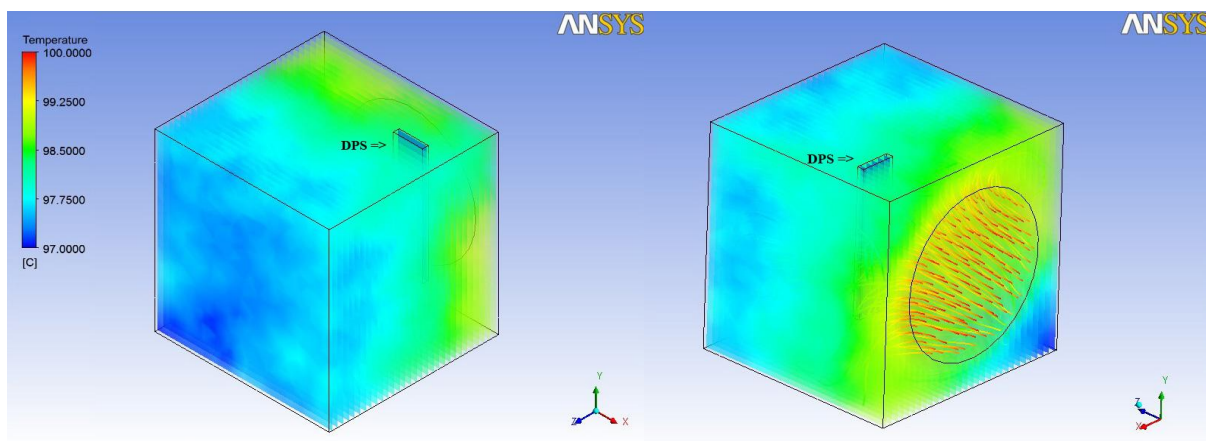
Obr. 32: Otočený pohled pro zobrazení rozložení teploty 100 °C v zadní části komory

### Výsledky simulací pro model s DPS

Na základě grafických výsledků simulace jsem zvolil místo s nejnižšími odchylkami teplot od teploty vzduchu z větráku. V tomto místě jsem umístil DPS a simulaci jsem provedl znovu. Na obrázcích níže je zobrazena simulace pro ohřev komory na teplotu 100 °C. Oblast s nejvyšší teplotou je znázorněna červenou a žlutou barvou.



Obr. 33: Zobrazení rozložení teploty pro teplotu 100 °C s DPS umístěnými vlevo

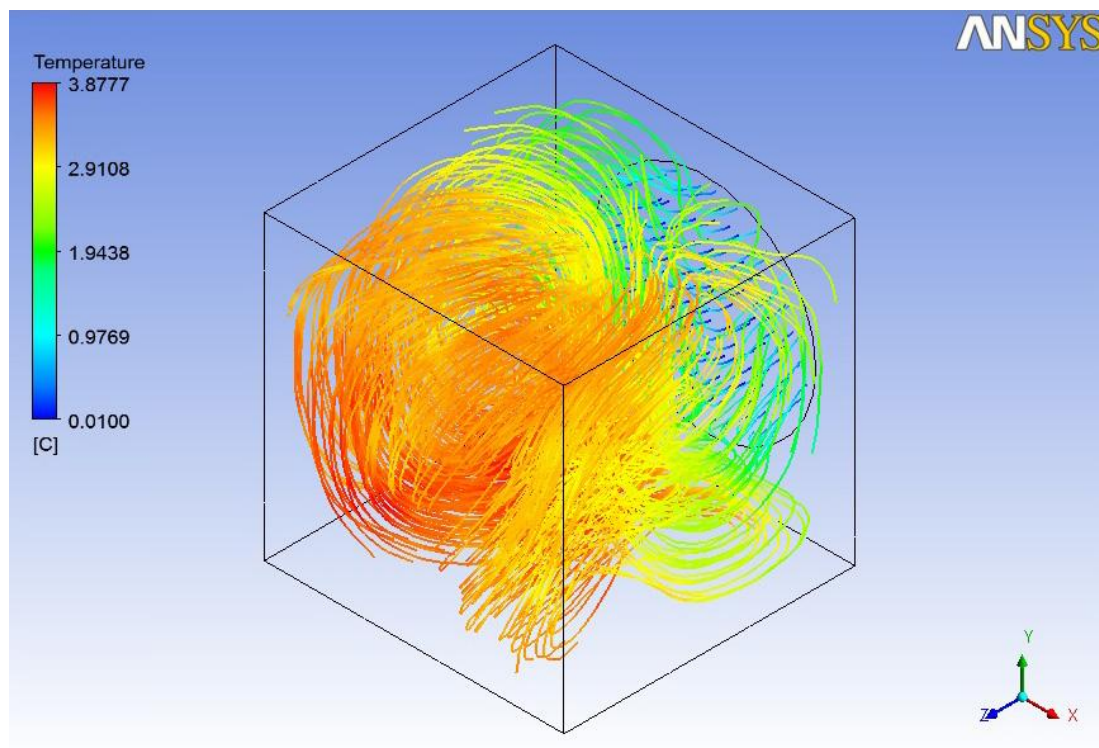


Obr. 34: Zobrazení rozložení teploty pro teplotu 100 °C s DPS umístěnými vpravo

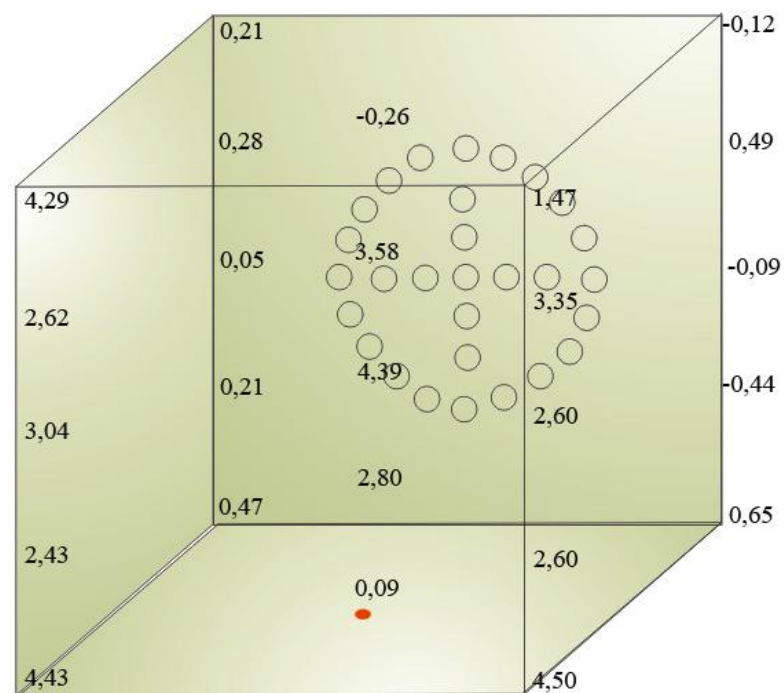
#### 4.8. Výsledky simulací pro teplotu 0 °C

Pro simulaci rozložení teploty v komoře pro teplotu 0 °C jsou vstupní parametry nastaveny stejně jako v předchozí části 4.7. pro teplotu 100 °C. V modelu je červeně znázorněna oblast s nejvyšší teplotou a modře je znázorněna oblast se vstupním proudícím vzduchem ochlazeným na nastavenou teplotu 0 °C.

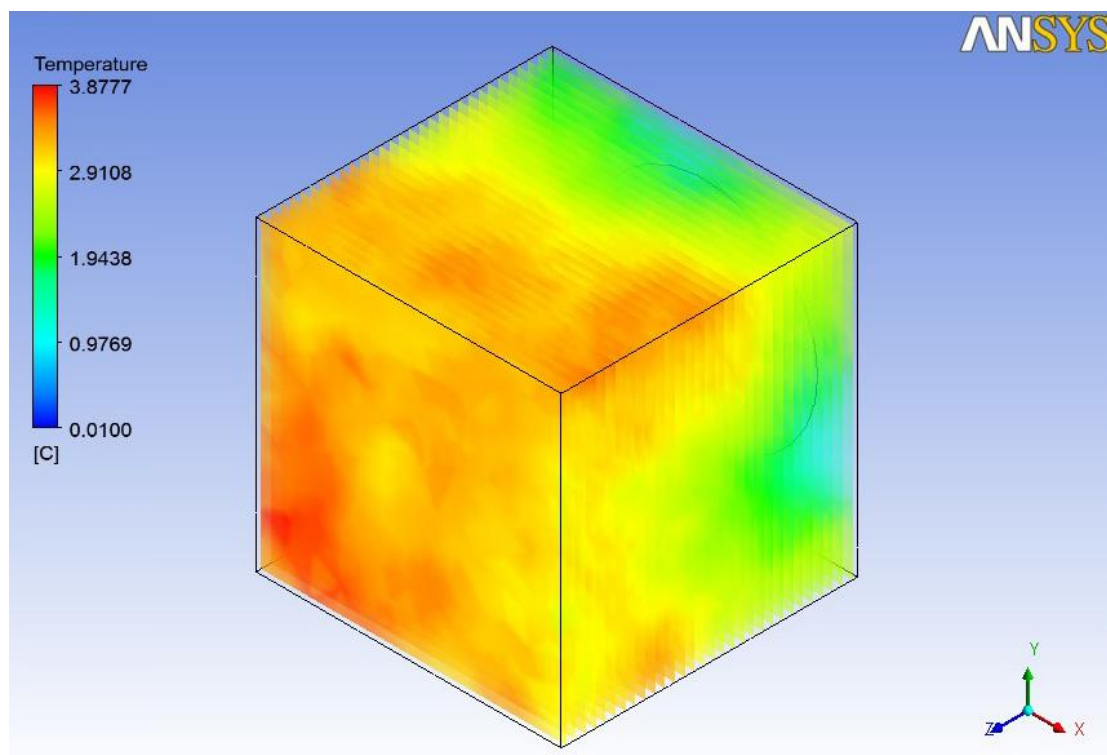
Odchytky teplot jsou způsobené stejnými vlivy jako v předchozím případě při teplotě 100 °C.



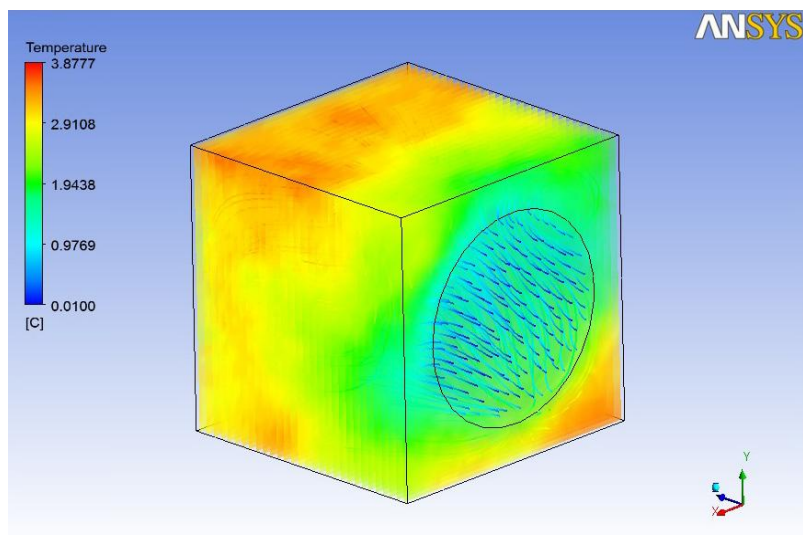
Obr. 35: Rozložení teploty 0 °C pomocí proudnic (Streamline)



Obr. 36: Zobrazení naměřených hodnot pro teplotu 0 °C



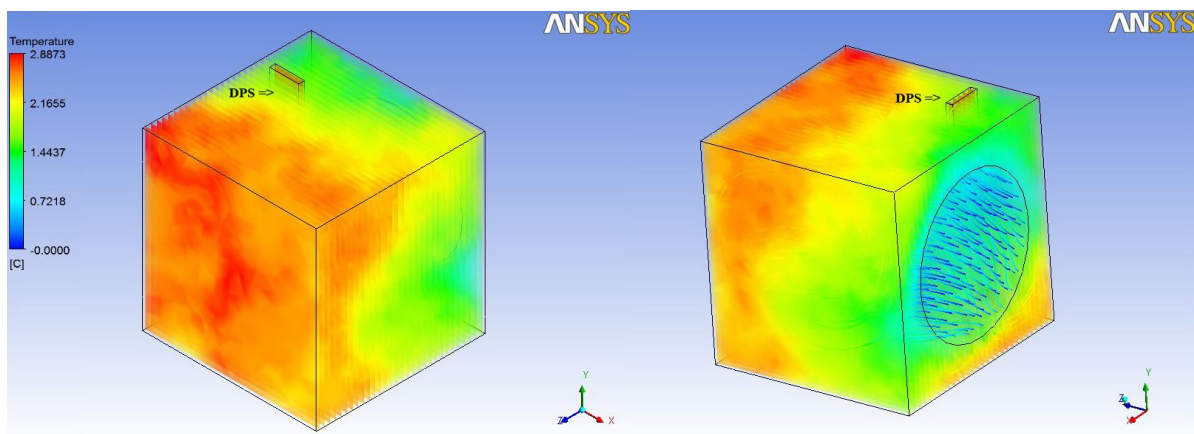
Obr. 37: Rozložení teploty 0 °C pomocí „renderování“ (Volume rendering)



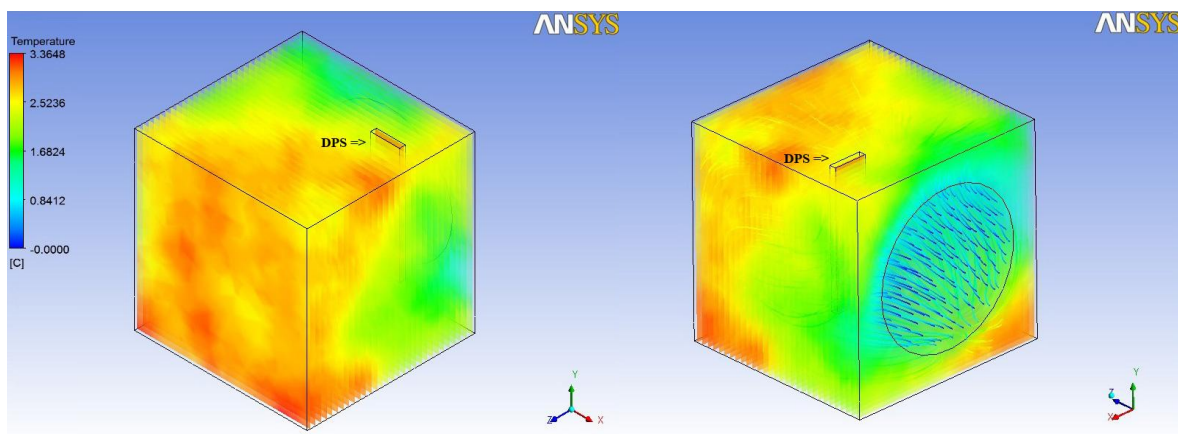
Obr. 38: Otočený pohled pro zobrazení rozložení teploty 0 °C v zadní části komory

### Výsledky simulací pro model s DPS

Na obrázcích níže jsou zobrazeny výsledky simulace pro model s DPS při ochlazování komory na teplotu 0 °C. Desky jsou umístěny vertikálně v zadní části komory před větrákem. V této oblasti jsou odchylky teplot od teploty vzduchu z větráku nejmenší, oblast s nejnižší teplotou je v modelu znázorněná modrou a zelenou barvou.



Obr. 39: Zobrazení rozložení teploty pro teplotu 0 °C s DPS umístěnými vlevo



Obr. 40: Zobrazení rozložení teploty pro teplotu 0 °C s DPS umístěnými vpravo



## 5. Zhodnocení

Cílem této práce bylo stanovení reálného rozložení teploty v teplotní komoře CTS. Realizovat držák pro optimální umístění vzorků a optimalizovat umístění vzorků na základě měření a simulaci v simulačním programu ANSYS. V průběhu práce jsem se seznámil s obsluhou teplotní komory CTS, měřícím modulem Omega TC - 08 a programovým vybavením těchto zařízení. Jako nejvhodnější program pro simulaci byl vybrán program ANSYS Workbench.

V praktické části jsem pomocí termočlánků upevněných na sestrojeném držáku měřil teplotu celkem ve 25 místech. Naměřené hodnoty jsem vyhodnotil a graficky zobrazil do obrázků. Na základě výsledků jsem vyhledal oblast s nejnižšími odchylkami teplot a v tomto místě jsem umístil DPS a měření opakoval.

Druhou praktickou částí bylo vytvoření simulace v programu ANSYS Fluent. Rozložení teploty z výsledků simulace je shodné s rozložením naměřeným. Teplotní odchylky jsou v simulaci menší než v případě měření, je to dáno tím, že jsem neznal přesné vstupní parametry, největší vliv na odchylky teplot má parametr tepelný tok materiálem. Výsledky simulací jsou podrobněji zobrazeny v praktické části.

V projektu bylo nejnáročnější seznámit se za krátkou dobu s programem ANSYS Workbench. Ze začátku pro mě jako neznalého bylo obtížné se orientovat v prostředí programu. Program nabízí velké možnosti nastavení pro vytvoření simulace. Výpočet simulace byl náročný na hardware a úměrně i na čas. Tato práce se jako první na oboru zabývá problematikou proudění vzduchu. Simulace rozložení teploty v komoře je první krok, a lze se tedy v budoucnu touto problematikou ještě zabývat.

## 6. Seznam použité literatury

- [1] *Labimex CZ* [online]. 2008 [cit. 2011-11-15]. CTS GmbH. Dostupné z: <http://www.labimexcz.cz/partneri.php?pid=4>
- [2] *Thermometricscorp* [online]. 2011 [cit. 2011-12-01]. TYPE K THERMOCOUPLE  
Dostupné z: <http://www.thermometricscorp.com/thertypk.html>
- [3] MICHALSKI , Ludwig; MCGHEE, Joseph ; ECKERDORF, Krystyna . *Temperature Measurement , 2nd Edition*. England : John Wiley & Sons Ltd, 2001. 478 s. ISBN 0-471-86779-9.
- [4] Produkty firmy ANSYS Inc. *SVS FEM* [online]. [cit. 2012-04-16]. Dostupné z: <http://www.svsfem.cz/content/produkty-firmy-ansys-inc>
- [5] Metoda konečných prvků. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2012-04-16]. Dostupné z: [http://cs.wikipedia.org/wiki/Metoda\\_kone%C4%8Dn%C3%BDch\\_prvk%C5%AF](http://cs.wikipedia.org/wiki/Metoda_kone%C4%8Dn%C3%BDch_prvk%C5%AF)